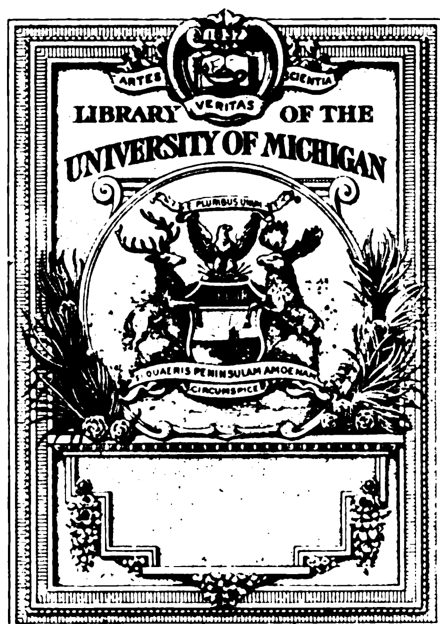

ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE

ANNALES

DES MINES.

COMMISSION DES ANNALES DES MINES.

Les ANNALES DES MINES sont publiées sous les auspices de l'administration générale des Ponts et Chaussées et des Mines, et sous la direction d'une commission spéciale formée par le Ministre des Travaux Publics. Cette commission est composée, ainsi qu'il suit, des membres du conseil général des mines, du directeur et des professeurs de l'École des mines, et d'un ingénieur, adjoint au membre remplissant les fonctions de secrétaire :

L'administration a réservé un certain nombre d'exemplaires des ANNALES DES MINES pour être envoyés, soit à titre de don aux principaux établissements nationaux et étrangers, consacrés aux sciences et à l'art des mines, soit à titre d'échange aux rédacteurs des ouvrages périodiques français et étrangers, relatifs aux sciences et aux arts. — Les lettres et documents concernant les ANNALES DES MINES doivent être adressés, *sous le couvert de M. le Ministre des Travaux Publics, à M. le secrétaire de la commission des* ANNALES DES MINES, rue du Dragon, n° 30, à Paris.

Avis de l'Éditeur.

Les auteurs reçoivent *gratis* 15 exemplaires de leurs articles. Ils peuvent faire faire des tirages à part à raison de 9 fr. par feuille jusqu'à 50, 10 fr. de 50 à 100, et 5 fr. pour chaque centaine ou fraction de centaine à partir de la seconde. Le tirage à part des planches est payé sur mémoire, au prix de revient.

La publication des ANNALES DES MINES a lieu par cahiers ou livraisons qui paraissent tous les deux mois. — Les six livraisons annuelles forment trois volumes, dont un consacré aux actes administratifs et à la jurisprudence. — Les deux volumes consacrés aux matières scientifiques et techniques contiennent de 70 à 80 feuilles d'impression, et de 18 à 24 planches gravées. — Le prix de la souscription est de 20 fr. par an pour Paris, de 24 fr. pour les départements, et de 28 fr. pour l'étranger.

PARIS. — IMPRIMÉ PAR E. THUNOT ET Cᵉ, RUE RACINE, 26.

ANNALES

DES MINES

OU

RECUEIL

DE MEMOIRES SUR L'EXPLOITATION DES MINES

ET SUR LES SCIENCES ET LES ARTS QUI S'Y RATTACHENT;

RÉDIGÉES

PAR LES INGÉNIEURS DES MINES

ET PUBLIÉES

SOUS L'AUTORISATION DU MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS.

SIXIÈME SÉRIE.

MÉMOIRES. — TOME IV.

PARIS.

DUNOD, ÉDITEUR,

SUCCESSEUR DE Vve DALMONT,

Précédemment Carilian-Gœury et Vve Dalmont,

LIBRAIRE DES CORPS IMPÉRIAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,

Quai des Augustins, 49.

1863

ANNALES
DES MINES.

NOTES

SUR LA FABRICATION DU COKE RECUEILLIES PENDANT UN VOYAGE EN BELGIQUE ET EN PRUSSE EN 1861.

Par M. BARRÉ, ingénieur des mines.

Produits de la distillation de la houille. — Lorsque l'on chauffe de la houille dans un vase clos, elle se sépare en deux parties : un produit fixe, le coke, et des matières gazeuses qui se dégagent. Ces matières gazeuses sont : de l'eau, de l'hydrogène protocarboné, de l'hydrogène bicarboné, des carbures d'hydrogène plus ou moins complexes, de l'ammoniaque, des sels ammoniacaux, diverses matières organiques comme la naphtaline et la créosote, du sulfure de carbone. Prises ensemble, elles peuvent brûler avec plus ou moins de fumées, en produisant plus de chaleur qu'il n'en faut pour carboniser la houille dont elles proviennent. Les procédés de distillation que nous avons observés se classent en deux d'après le but qu'on se propose.

Ou bien, ce qui arrive le plus souvent, le produit principal de la fabrication est le coke, et alors on brûle indistinctement toutes les parties volatiles de la houille pour obtenir la chaleur nécessaire à la cuisson ; ou bien on se propose d'extraire de ces principes volatils diverses matières utiles, avant de les brûler, comme cela arrive lorsqu'on em-

ploie les fours Knab belges. Nous nous occuperons d'abord du premier genre de travail.

Diverses classes de fours. — Fabrication exclusive de coke. — Les fours que l'on emploie sont avec ou sans admission d'air ; dans la dernière espèce, nous ne décrirons que les fours Appold de Sarrbrück ; la première espèce se divise en deux : celle des fours à une porte, et celle des fours à deux portes. Ces derniers, faits pour le déchargement mécanique, sont toujours prismatiques ; ceux qui n'ont qu'une porte peuvent être de différentes formes, mais les seuls que nous ayons pu étudier avec soin sont prismatiques. Nous suivrons donc, dans notre mémoire, pour la description des différents appareils l'ordre indiqué par le tableau suivant :

Fabrication exclusive du coke.	Fours avec admission d'air.	Fours à une porte:	de forme ovale.
			de forme prismatique.
		Fours à deux portes.	
	Fours sans admission d'air.	Fours Appold.	
Fabrication du coke, du goudron, des sels ammoniacaux.	Fours Knab.		

Généralités. — Le coke que nous avons vu fabriquer servait à deux usages principaux : l'emploi dans les hauts fourneaux ou sur les grilles des locomotives. Les qualités qui lui sont demandées dans les deux cas sont la pureté, l'homogénéité et la densité.

Pureté. — Le coke pourra être impur pour deux raisons dépendant l'une de la qualité de la houille, l'autre du procédé de fabrication.

1° Les extracteurs de Charleroy et, en général, de la Belgique, partagent leurs produits en trois catégories de grosseur. La gaillette ou grosse houille, la gailletterie formée de fragments moins volumineux, et le menu. La houille des deux premières catégories est en grande partie exportée et

se vend 20 francs la tonne; celle de la dernière qui entre pour les deux tiers dans la composition générale est seule employée à faire le coke. Elle se vend, suivant qu'elle est plus ou moins grasse de 7 à 5 francs la tonne. Elle est toujours salie par une plus ou moins grande quantité de schistes provenant du toit et du mur de la couche ou de lits intercalés, et par des pyrites. Les schistes doivent être enlevés par un broyage suivi d'un lavage. La pyrite intimement mêlée à la masse à l'état de minces écailles fortement adhérentes au charbon ne peut être séparée. Pendant la cuisson elle se transforme en protosulfure en perdant ainsi la moitié de son soufre; si l'extinction se fait par l'eau, la purification est encore un peu plus complète par la transformation d'une partie du soufre en hydrogène sulfuré.

2° Il est indispensable, si l'on ne veut pas que le coke soit sali par des cendres de ne brûler dans le four que les matières volatiles, et l'admission de l'air devra être convenablement réglée à cet effet. Si l'on veut un coke parfaitement propre, il faudra préférer l'extinction par l'eau à l'extinction par du fraisil ou par du sable.

Homogénéité. — Pour que la combustion se fasse d'une manière régulière dans le four à cuve ou dans le foyer des locomotives, il faut que le coke soit bien homogène. On obtiendra ce résultat en employant un four où la distillation se fasse d'une manière bien égale dans toutes les parties de la charge et en soumettant ce charbon à un broyage préalable. Cette dernière opération se fait à la main ou au moyen de cylindres broyeurs. Partout où nous avons vu employer des broyeurs, le concassage était suivi d'un lavage épurateur. Le broyage à la main se fait d'une manière très-simple au moyen de palettes en bois adaptées à un manche en bois et inclinées sur lui de 45° environ. Il est ordinairement exécuté par des femmes à qui l'on donne 20 à 25 centimes par tonne de charbon fin livré.

Densité. — Il y a quelques cas particuliers où l'on peut demander que le coke soit léger. Tel doit être par exemple celui que nous avons vu faire à Bochum (an die Ruhr) dans les fours à une porte de forme ovale dont nous parlerons plus loin. Il est destiné à être employé dans des hauts fourneaux, mélangé avec du charbon de bois. Dans ce cas la légèreté est naturellement une condition indispensable à la descente régulière des charges. Mais généralement on demande un combustible dense. Cette qualité sera obtenue par une hauteur de charge et une durée de la cuisson convenables. Les trois qualités dont nous venons de parler sont considérées généralement en Belgique comme plus nécessaires encore pour les locomotives, que pour les hauts fourneaux où l'on peut remédier aux accidents par le changement de la proportion des charges ou de la pression du vent. Aussi, lorsque le coke doit être consommé sur place dans des fours à cuve, se dispense-t-on presque toujours du lavage de la houille ; dans l'autre cas, ce lavage est au contraire effectué avec soin. Les compagnies de chemin de fer n'admettent généralement que 6 p. 100 de cendres dans le combustible qui leur est livré. S'il y en a moins, le fabricant obtient une prime proportionnelle à l'épuration ; s'il y en a plus il subit une perte plus forte relativement que la prime.

Apparence d'un bon coke. — Un bon coke devra être d'une peau gris claire bien uniforme, dénué de taches irrégulières noirâtres qui indiqueraient la présence du sulfure de fer, et d'irritations qui témoigneraient d'une cuisson incomplète. Comme nous le montrerons plus loin, l'apparence de la masse et sa division en primes plus ou moins volumineux et plus ou moins réguliers, pourra servir aussi à juger le procédé de fabrication.

Température du four au moment du chargement. — Il faut évidemment que, dans les fours avec admission d'air, la température soit assez forte, après le chargement et la fermeture des portes, pour produire la distillation et l'in-

flammation des parties volatiles. Cette température pourra être peu élevée pour les houilles bien grasses et l'on comprend que dans ce cas, alors même que les parois et la sole n'ont pas été chauffées par les gaz, on doive laisser un certain intervalle entre le défournement et le chargement. Il arriverait en effet, si la chaleur initiale était trop considérable, qu'il se dégagerait brusquement dans toute la charge une grande quantité de produits gazeux et que le coke obtenu serait fritté. Pour les fours à deux portes, cet intervalle est toujours très-faible, car le courant qui s'établit d'une ouverture à l'autre refroidit rapidement les parois. Lorsque la houille est demi-grasse ou maigre, il importe au contraire que le four soit très-chaud après le chargement ; il faut en effet que la faible quantité de matières bitumineuses qui existe dans le charbon fonde immédiatement pour produire l'agglomération ; avec peu de chaleur initiale, elles se dégageraient lentement sans produire cet effet, et le coke serait à l'état de grésillons. Tel est le cas qui se présente presque toujours dans le bassin de Charleroi et qui y nécessite l'emploi des fours à sole et à parois chauffées dont la description forme la partie principale de ce mémoire.

Durée de l'opération. — La durée de la cuisson dépend naturellement de la qualité de la houille et des dimensions des fours où elle est traitée. Plus le four sera large et plus la hauteur de charge sera grande, plus il faudra de temps pour que la chaleur nécessaire à la distillation gagne les parties centrales de la charge. Aussi cette durée est-elle très-variable. Le moment du défournement est fixé facilement par le maître calcineur qui débouchant une des ouvertures de la porte regarde s'il voit bien clair dans le four, c'est-à-dire si ces produits volatils ont cessé de se dégager et de brûler à la partie supérieure.

Dimensions des fours. — La longueur est un élément d'assez peu d'importance pour les fours à déchargement mécanique : elle doit au contraire être choisie avec soin

lorsque le défournement se fait au crochet. Si elle dépasse certaines limites le travail des ouvriers devient excessivement pénible. On comprend en effet combien, dans les fours Fromont par exemple, il doit être difficile de manier de forts ringards en fer de 4m,50 de longueur, pour décrocher le coke qui est au fond. On ne trouve pas facilement des ouvriers assez adroits et assez robustes pour un pareil travail, et on a l'inconvénient, lorsqu'on en a trouvé, d'être obligé souvent de souffrir de leur part, des inexactitudes et même des fraudes, dans la crainte de ne pouvoir les remplacer. La largeur est dans tous les cas un élément important. Elle sera faible pour les houilles maigres qui doivent être, immédiatement après l'enfournement, saisies dans toute leur masse par une chaleur considérable ; elle sera grande pour des houilles grasses dans lesquelles la chaleur ne doit se propager que lentement, et qui dans l'augmentation de volume produite par la fusion des matières bitumineuses, agiraient d'une manière destructive sur des parois trop rapprochées. Il est évident du reste que la largeur doit être en raison directe de la durée que l'on veut attribuer à la cuisson. La hauteur de charge doit être d'autant plus faible que la houille est plus maigre, que la durée de la cuisson est moindre. Elle ne doit jamais être assez forte pour que la masse, en augmentant de volume, puisse agir sur la voûte du four.

Formation des pieds noirs. — Si nous considérons un four dont la sole est chauffée par les gaz, renfermant une charge de charbon gras, immédiatement après la fermeture des portes, la houille qui est près de la sole va distiller des goudrons qui se condenseront dans la partie intermédiaire non encore saisie par la chaleur ; de même la partie supérieure chauffée par la voûte laissera couler des goudrons dans cette partie intermédiaire. Ce n'est qu'au bout d'un certain temps que tous ces produits bitumineux accumulés sur la ligne du milieu se dégageront en vapeur ; ils passe-

ront sans obstacle dans la zone supérieure déjà fendillée, mais laisseront le coke, aux points d'où ils sortent, à l'état de grésillon. Cette partie intermédiaire frittée s'appelle le pied noir. Tel est le grand inconvénient que l'on a à éviter dans tous les fours du bassin de Charleroi, qui, eu égard à la nature des houilles qu'on y traite, doivent être à sole chauffée. On y arrive assez bien par la diminution de la largeur et le chauffage des parois, qui, ayant pour effet de saisir rapidement la masse entière par une forte chaleur, ne permettent pas longtemps l'existence d'une partie assez froide pour la condensation des goudrons. Il est clair du reste que l'inconvénient est beaucoup moindre pour les houilles demi-grasses ou maigres que pour les houilles grasses. Dans les fours bien construits que nous avons eu occasion de voir, le pied noir n'existe pas du tout au milieu, et c'est à peine si quelquefois on en remarque une épaisseur très-faible le long des parois ; elle provient de la distillation trop rapide des parties du charbon qui sont en contact immédiat avec les sources de chaleur.

Division de la masse de coke en prismes. — Dans les fours prismatiques où la distillation s'effectue bien, le retrait produit par le départ des gaz partage la masse en prismes verticaux légèrement fendillés dans le sens horizontal. C'est une condition indispensable pour le coke bien fabriqué. Les gaz se dégagent facilement de tous les points de la charge par les fissures naturellement produites et aucune partie n'est boursouflée par leur départ. Toutes les formes ne sont pas également favorables à cet effet. On peut s'en convaincre en observant les charges défournées des fours cylindriques de M. Talabot, qui, employés pour les houilles grasses de Mons, ont l'avantage de permettre un glissement facile de la masse augmentant de volume, et empêchent ainsi la destruction des parois par la formation d'arcs-boutants. Dans ces fours il y a tendance à la formation d'aiguilles émergeant du point central de la charge, celui qui

reçoit en dernier lieu l'impression de la chaleur. Il arrive de cette façon que le départ des gaz ne peut facilement se faire et que le fendillement devient plus répété et plus irrégulier.

Relation des fours entre eux. — Cheminées. — Nous montrerons à propos des fours Fromont, l'inconvénient qu'il y a à faire passer dans un four les produits de la distillation d'un autre. On peut voir immédiatement que l'on aura dans tous les cas le désavantage d'obtenir par ce moyen deux qualités différentes de coke. Dans le plus grand nombre des fours du bassin de Charleroi, les flammes d'un four servent à en chauffer un autre, soit le vis-à-vis, soit le voisin. C'est là en principe une mauvaise disposition, car si l'on a à faire une réparation quelconque à l'un des fours, celui qu'il chauffe ne marchera plus convenablement et en fera souffrir un autre et ainsi de suite. D'ailleurs celui qui chauffait le premier devant être arrêté pour que l'on puisse pénétrer dans celui-ci, fera souffrir l'autre série, et tout le massif devra ainsi être arrêté si la réparation est longue à faire. Il résulte de là que les flammes d'un four ne doivent être absolument employées qu'à chauffer sa sole et ses propres parois. Dans ce cas encore, les voisins souffriront légèrement, mais l'inconvénient sera beaucoup moindre et pourra même être insensible. Toutefois si l'on est astreint à avoir au moment du chargement une température très-élevée comme lorsque l'on traite des houilles maigres, il faudra renoncer à l'indépendance des fours et s'arranger de façon que dans les carneaux du four qu'on charge passent les gaz d'un four en pleine cuisson. On peut dire d'une manière générale que l'emploi d'une grande cheminée unique pour un massif de fours est mauvais surtout lorsque l'on cuit des houilles peu grasses; il en résulte en effet que lorsqu'on décharge un four, le tirage qui s'y établit est trop fort et le refroidit trop rapidement. Chaque cheminée doit être munie d'un registre réglant le tirage.

Chargement et déchargement. — J'ai déjà dit combien, dans certains fours auxquels on a donné une longueur trop grande, le déchargement au crochet est pénible et difficile. Il a en général l'inconvénient de coûter beaucoup de main-d'œuvre en raison du nombre et du choix des ouvriers, et de durer très-longtemps, ce qui occasionne une perte de temps et un déchet de coke par l'effet du libre accès de l'air sur la masse de combustible. Le déchargement à la mécanique coûte moins de main-d'œuvre et dure beaucoup moins ; les désavantages qu'il présente consistent dans le déchet de coke produit par le courant d'air qui s'établit entre les deux ouvertures, et dans les accidents qui arrivent si la masse poussée au cabestan rencontre une résistance provenant d'un accolement contre les parois et, s'amoncelant sous la poussée du refouleur, vient à peser contre la voûte ou les murs latéraux. Ce dernier cas ne se présente que très-rarement et peut être évité par une surveillance attentive ; le déchet de coke est très-peu de chose en raison du peu de durée de l'opération. Le chargement se fait dans la plupart des fours que nous avons vus par la porte ou par les deux portes. Quelques-uns seulement étaient munis d'ouvertures supérieures au-dessus desquelles circulaient des wagons à fond mobile. Ce chargement par trémies est naturellement plus rapide et par conséquent plus avantageux.

Extinction du coke. — L'extinction du coke sorti du four se fait à l'eau, au fraisis ou au sable ; ce dernier mode doit être rejeté comme salissant trop le combustible. Le second a, à un degré moindre, le même inconvénient et demande du reste beaucoup de temps.

Il faut donc préférer l'extinction à l'eau. Elle se fait, soit en jetant sur la masse des seaux d'eau puisée dans des réservoirs alignés devant le massif, soit en dirigeant sur le coke un jet d'eau au moyen de tuyaux en cuir adaptés de distance en distance sur une conduite parallèle au massif où

l'eau est refoulée par un procédé quelconque. La première méthode est employée presque partout, car la seconde demande une installation plus difficile, et plus de temps. Il coûte toutefois moins de main-d'œuvre. Dans les deux cas il faut avoir soin de ne verser que la quantité d'eau nécessaire pour éteindre, car le coke absorberait l'excès avec avidité et ne lui permettrait pas de se vaporiser à l'air libre. Il en résulterait que sur les locomotives on emporterait un poids inutile et que, dans les fours à cuve le combustible se délitant par l'évaporation de l'eau se réduirait en poussière. De cette façon la circulation des gaz serait gênée et la hauteur de la zone de réduction diminuée.

Fours à parois et à sole chauffées. — Nous avons eu occasion de voir dans les environs de Charleroi un grand nombre de fours à parois et à sole chauffées. Les premiers essais que l'on tenta pour fabriquer du coke avec des houilles demi-grasses ou maigres du bassin, datent de 1842, époque à laquelle M. Brunfaut eut le premier l'idée de demander la chaleur initiale nécessaire au chauffage de la sole par des gaz perdus. Après lui vinrent MM. Lambert et Dupret qui imaginèrent de faire passer les gaz d'un four dans un autre, idée appliquée plus tard d'une manière plus simple par M. Fromont. A leur suite un grand nombre d'inventeurs prirent des brevets pour des applications plus ou moins heureuses des idées de leurs prédécesseurs. Ne considérant que l'état actuel de la fabrication de coke, nous laisserons complétement de côté un grand nombre de fours qui n'existent plus guère dans le pays qu'à l'état de ruines, ou qui sont destinés du moins à disparaître prochainement. Nous ne nous appliquerons à décrire que ceux que l'on peut considérer comme des types des systèmes actuellement employés.

Nous devons déclarer d'avance que les renseignements en chiffres que nous donnerons sur la valeur de chacun d'eux ne peuvent être considérés comme des bases sérieuses de

comparaison. Nous n'avons pu en effet contrôler assez exactement les rendements de tous les appareils, et les qualités de coke sont du reste trop variables avec les provenances des houilles pour qu'on puisse établir facilement une comparaison entre les résultats obtenus.

Fours à une porte de forme ovale. — Les fours à une porte de forme ovale ont disparu depuis longtemps dans le bassin de Charleroi. Nous n'en avons vu non plus aucun échantillon dans les environs de Mons, où on les a généralement remplacés dans ces dernières années par les fours à une porte sans circulation des gaz, ou à parois et sole chauffées, ou par les fours à deux portes, suivant que la houille employée est plus ou moins grasse. Nous n'en avons pu observer qu'un système à la fosse du Prinz Président, près Bochum, en Westphalie où ils sont faits dans le but tout particulier de fabriquer du coke assez léger pour pouvoir être employé dans les hauts fourneaux concurremment avec du charbon de bois. Leur construction n'offre rien de particulier. La charge est de 6 quintaux et se répand sur une hauteur de 15 centimètres. La durée de la cuisson est de 8 heures. Le rendement est de 60 p. 100. Le coke fabriqué revient à 18 francs la tonne. Il est à remarquer que l'on ne doit pas dans ces fours faire le chargement immédiatement après le défournement. Si on le faisait, comme la houille employée est très-grasse, il se produirait un dégagement rapide de gaz qui bouleverserait la masse de charbon et le coke obtenu serait tout à fait friable c'est-à-dire très-mauvais pour l'usage auquel il est destiné. On attend généralement 3/4 d'heure avant de jeter une nouvelle charge. La partie supérieure du gâteau de coke obtenu dans ces fours est à l'état de grésillon, ce qui tient à ce que la chaleur qui s'est conservée à la voûte distille trop rapidement, au début de l'opération, la tranche supérieure de la houille.

Fours à une porte de forme prismatique. — Tous les fours de cette nature que nous avons pu voir, à l'exception des fours Eaton, que l'on vient d'installer tout récemment dans le bassin de Mons, sont à parois et à sole chauffées. On n'y cuit que des houilles moyennement grasses. Nous décrirons d'abord le système de M. Fromont qui s'est appliqué à faciliter les manœuvres dans l'appareil dont l'idée première appartenait à MM. Lambert et Dupret, tout en cherchant à y perfectionner le chauffage de la sole et des parois.

Fours Fromont fig. 1 à 4 Pl. I. — Les fours Fromont, appliqués tout d'abord dans le bassin de Charleroi, étaient, il y a quelques années, fort répandus en Belgique, où ils jouissaient d'une grande réputation pour la cuisson des houilles demi-grasses, ou de mélanges correspondant à cette qualité. On les trouvait aussi dans la Ruhr et en particulier à Borbeck, près Essen, dans l'usine appartenant à la société du Phœnix. Les inconvénients très-graves qu'ils présentent, et que nous signalerons après les avoir décrits, les ont actuellement fait disparaître presque partout. Nous ne sachions pas qu'il en existe encore ailleurs qu'à l'usine de Châtelineau dont M. Fromont a été directeur jusqu'en juillet 1858, et où il en avait fait construire 90 suffisant à peu près à l'entretien des six hauts fourneaux. Aujourd'hui il n'en reste plus qu'un massif de 12, qui est en très-mauvais état, et que l'on doit faire disparaître prochainement pour le remplacer par des fours à deux portes du système Smet.

Le massif est à deux étages, l'un des étages ayant les portes de ses fours de l'un des côtés et l'autre de l'autre. La houille est chargée dans les deux compartiments superposés A et B. Les gaz de la charge A se répandent en montant par les carneaux C parmi ceux de la charge B, et le mélange descend ensuite par les carneaux latéraux D et les carneaux *d* situés dans la paroi postérieure, sous la sole du four inférieur. Là il circule successivement dans les galeries

E et F ; il parcourt ensuite les deux galeries latérales G et H et se rend enfin à la cheminée. On voit que de cette manière les deux compartiments latéraux sont parfaitement chauffés par leur sole et par leurs parois.

Les portes qui sont en fer et garnies à l'intérieur de briques réfractaires sont hermétiquement lutées et ne présentent aucune ouverture ; quatres ouvertures pratiquées sous chacune des portes et que l'on peut fermer plus ou moins au moyen de briques servent à introduire dans les carneaux l'air nécessaire à la combustion des gaz. Si tout restait dans ces conditions pendant l'opération, on aurait ainsi une calcination en vase clos avec un chauffage assez convenable de toutes les parois ; mais il arrive toujours que le lut des portes ou la maçonnerie elle-même se fissure en sorte qu'il est impossible de considérer les fours Fromont autrement que comme des fours avec accès d'air.

A la partie supérieure du massif, dans la maçonnerie ordinaire qui protége les fours, et dans des cavités ménagées sous les galeries qui chauffent la sole inférieure sont des lits de briques grossièrement concassées destinés à empêcher la déperdition de chaleur et en même temps à permettre un certain jeu aux constructions.

Aux extrémités du massif sont ménagées des épaisseurs de $1^m,50$ de maçonnerie ordinaire destinées à le protéger contre les mouvements dans le sens longitudinal.

Il est facile de voir sur les dessins que la batterie est partagée en un certain nombre de systèmes de deux fours, et qu'il n'y a rien à changer à ceux des extrémités pour que le chauffage de leurs parois se fasse bien. Chacun de ces systèmes est isolé de son voisin, ce qui est un grand avantage dans le cas où l'on a à effectuer une réparation dans l'un d'eux.

Il est très-facile d'installer sur un massif Fromont une chaudière horizontale. Nous montrons (*fig.* 5, Pl. I) la construction adoptée à Châtelineau, où l'on a calculé que chaque

four pouvait en moyenne fournir une force d'un cheval. On peut à volonté faire circuler les gaz sous la chaudière ou les faire aller directement aux cheminées. Si tous les systèmes de fours avaient leurs galeries de sole disposées comme ceux qui sont représentés, il est clair que toutes les cheminées seraient alignées d'un même côté de l'axe longitudinal du massif; mais un simple renversement transversal de cette disposition permet de les placer alternativement d'un côté et de l'autre de l'axe, comme cela est supposé dans la *fig.* 5, Pl. I. Les gaz débouchent alternativement sous la chaudière par les galeries *g*. Ils sont fournis à volonté par un nombre plus ou moins grand de fours, suivant qu'on veut plus ou moins de vapeur.

La hauteur de charge est de $0^m,50$. Les charges sont de 1.600 kilogrammes représentant 15 hectolitres dans les compartiments inférieurs et de 1.500 kilogrammes dans les autres. On a déterminé par un grand nombre d'essais qu'il fallait de préférence employer un mélange de charbon gras ou aux 3/4 gras avec 1/3 ou 1/2 de charbon demi-gras. Le rendement est alors en moyenne de 70 p. 100, et le coke obtenu, s'il est bien cuit, est d'une densité remarquable. La durée de l'opération est de 24 heures. Si l'on veut avoir un produit très-dense, on la porte à 36 heures.

On charge et on décharge alternativement deux fours superposés de 12 en 12 heures ou de 18 en 18 heures. En effet, deux charges fraîches faites ensemble dans une batterie refroidiraient beaucoup trop les fours pour que l'agglutination initiale fût possible. Par le procédé adopté, on a l'avantage que le chargement et le déchargement d'un four se font au moment où ses parois sont le plus fortement chauffées par la charge de l'autre. De plus, il n'arrivera jamais que les ouvriers soient gênés par des fumées, car lorsque l'on déchargera le four supérieur, les flammes du four inférieur n'existeront déjà presque plus. Il ne reste donc d'autre inconvénient que la chaleur extrême qui est

produite surtout dans le défournement supérieur par les vapeurs réunies des deux fours. Il est encore très-grave, et j'ai dit dans les préliminaires combien il était difficile de trouver des ouvriers assez robustes et assez adroits pour s'acquitter d'un travail aussi pénible, et dans tous les cas assez honnêtes pour remplir leurs engagements.

Les outils dont ils se servent sont une pelle à charger la houille, des ringards de grosseurs et de longueurs différentes pour décrocher le coke et des pelles à grilles pour le retourner (*fig.* 7, 8 et 9, Pl. I).

Le ringard est en fer et est appuyé sur une barre fixée en travers de la porte.

La main-d'œuvre est de 1f,40 par tonne de coke.

Quatre ouvriers choisis suffisent pour huit fours.

Inconvénients des fours Fromont. — Les graves inconvénients qui ont fait rejeter les fours Fromont sont les suivants :

1° Ils fournissent évidemment du coke de deux qualités différentes. La charge supérieure, qui est plus chauffée que l'autre, est en effet moins considérable : il en résulte que si le coke supérieur est bien cuit, celui d'en bas ne l'est pas assez, et si celui-ci est convenable, l'autre est trop dense. On peut y remédier en chargeant en haut de la houille plus maigre qu'en bas ; mais si l'on ne peut le faire, il vaudra mieux chercher à obtenir dans le compartiment inférieur un produit parfait, l'excès de densité étant un inconvénient toujours moindre que l'imparfaite cuisson et étant même souvent un avantage. On pourrait s'arranger aussi de façon à augmenter la charge supérieure. Il faudrait pour cela restituer au compartiment d'en haut sa largeur en faisant passer les gaz inférieurs à travers des carneaux ménagés dans la paroi latérale et débouchant en haut du compartiment supérieur. On pourrait en même temps, en élevant un peu la voûte, augmenter la hauteur de charge.

2° Le défournement est, comme nous l'avons dit, très-pé-

nible ; il est difficile de trouver des ouvriers qui puissent s'en charger et de les remplacer lorsqu'on les a. Aussi en a-t-on vu à Châtelineau qui, se croyant sûrs de l'impunité, rechargeaient de la houille fraîche dans des fours très-incomplétement vidés.

3° M. Fromont ne donnait pas aux carneaux emmenant le mélange des gaz une section supérieure à celle qu'avaient ceux qui font communiquer les compartiments. Il en résultait un tirage très-difficile et une destruction rapide.

4° La cause précédente produit un encrassement rapide des conduits D. Au bout de trois mois, ils sont toujours plus ou moins bouchés. Or ils sont inaccessibles si l'on ne se résout à des démolitions partielles. Si on ne les débouche pas, les gaz comprimés font éclater les portes, et on a, pour ainsi dire, une cuisson à l'air libre. C'est dans cet état que nous avons trouvé la plupart des fours qui existent encore à Châtelineau.

5° La construction des fours est assez compliquée, et les numéros de briques sont au nombre d'une vingtaine et plus.

6° La sole fortement chargée par le pied-droit, qui forme l'une des parois des carneaux C, et chauffée violemment sur ses deux faces, ne peut résister longtemps. Sa reconstruction entraîne celle du pied-droit et presque toujours des autres parois des conduits C ; aussi préférait-on souvent à Châtelineau, quand le temps manquait, laisser librement passer les gaz à travers la charge supérieure, ce qui est naturellement d'un effet très-nuisible sur le coke qu'elle fournit. Une grande partie de ces inconvénients disparaîtrait par l'emploi de carneaux ménagés dans la paroi latérale pour le passage des gaz du compartiment inférieur.

7° L'existence de deux étages superposés est toujours une mauvaise chose, en ce sens qu'elle entraîne nécessairement un remaniement préalable du sol de l'usine.

Fours Coppée. — M. Coppée exploite une usine à coke entre Manage et la Louvière, non loin du charbonnage de

Haine-Saint-Pierre. Elle comprend des fours à deux portes et des fours à une porte. Ces derniers qui seront très-prochainement complétement abandonnés, sont, comme les fours Fromont, fondés sur le principe de la communication des compartiments. Le massif se partage en batteries de quatre fours adossés et accolés; les gaz d'un four se répandent par trois ouvertures dans le compartiment latéralement voisin. Là le mélange des produits volatils trouve à la partie supérieure du fond une ouverture qui lui permet de descendre par un carneau vertical dans une galerie horizontale ménagée sous la sole et communiquant par trois ouvertures avec une galerie semblable placée sous la sole latéralement voisine. Il se répand ensuite dans des carneaux latéraux chauffant complétement la paroi de gauche et va enfin à la cheminée. Les gaz des deux fours adossés font un parcours semblable, et après avoir chauffé leurs deux soles circulent le long de la paroi latérale de droite et vont à une autre cheminée. Nous n'insisterons pas sur les défauts de cet appareil, qui joint à l'inconvénient de l'inégale cuisson dans les compartiments voisins celui du chauffage imparfait des soles et des parois. La faible température à laquelle sont soumises les parois après un chargement et la largeur extrême des fours y rendent impossible la calcination des houilles un peu maigres. La charge est de 20 hectolitres; la cuisson dure 24 heures; on charge et décharge au crochet alternativement toutes les 12 heures les systèmes de deux fours adossés.

Fours qui ne communiquent pas entre eux. — Nous allons considérer maintenant les fours qui ne communiquent pas entre eux. Le point principal auquel il faille tenir dans leur construction est, après la régularité et l'efficacité du chauffage, que les réparations que l'on peut avoir à effectuer dans un compartiment ne nécessitent pas la suspension du travail dans les autres. Nous examinerons, pour chacun des appareils en particulier, si cette condition est réalisée.

Four Gendebien. — Les fours Gendebien (*fig.* 10 à 14, Pl. I) se distinguent de tous les autres en ce qu'ils se présentent dans un même massif à deux étages différents. Prenons d'abord un des fours inférieurs : les gaz de la houille du compartiment A qui a, je suppose, sa porte en avant, s'en vont par les ouvertures *a*, au nombre de deux, percées dans la paroi du fond ; ils descendent par les carneaux BB, ménagés dans cette paroi, jusque sous la sole, qu'ils chauffent dans toute sa longueur en parcourant les galeries B'B' d'arrière en avant, puis les galeries C'C' d'avant en arrière. Ils remontent ensuite dans la paroi du fond par les carneaux extrêmes CC, qui les conduisent dans les espaces DD ménagés au-dessus de la voûte des deux côtés. Ils sont ainsi ramenés en avant et s'en vont soit à la cheminée, soit dans un grand conduit horizontal placé à la partie supérieure du massif et terminé par des tubes qui vont aux foyers des chaudières à vapeur. Pour les fours supérieurs, la circulation des gaz est à peu près semblable ; seulement, comme ils descendent dans la paroi située en avant, après les trajets dans les galeries FF, puis GG, ils se trouvent encore en avant et vont directement soit à la cheminée, soit au conduit unique. On voit que, de cette façon, les deux systèmes de fours sont chauffés à la fois à la voûte et sur toutes leurs parois.

La figure montre comment il faut modifier la disposition ordinaire pour que les deux fours supérieurs qui forment les extrémités d'un massif aient toutes leurs parois chauffées. Les gaz, après avoir parcouru les galeries de sole, sont conduits dans le canal latéral H, puis dans l'espace K, qui les ramène en avant.

Nous avons vu dans l'usine de Montigny-sur-Sambre, dirigée par M. Gendebien, plusieurs massifs de fours construits tous de la même manière, mais présentant des dimensions un peu différentes. Celles qui sont adoptées dans les constructions les plus récentes sont les suivantes :

Hauteur de la voûte au point où elle est le plus élevée. .	1,10
Longueur de la sole.	3,50
Largeur de la sole.	0,95
Largeur de la porte.	0,55
Hauteur de la porte.	0,75
Hauteur du rail au-dessus du sol des deux côtés du massif.	0,50
Épaisseur de la paroi qui sépare deux fours.	0,12
Épaisseur entre les carneaux.	0,12

Les parois sont consolidées par de fortes armatures en fer de 0^{m},25 de largeur sur 0^{m},06 d'épaisseur, dressées dans les intervalles des fours et réunies à la partie supérieure du massif par des barres plates. La maçonnerie qui entoure les parois réfractaires n'est pas pleine, comme l'indiquent les figures : elle présente des vides qui communiquent à la fois entre eux et avec l'air extérieur. L'air qui les remplit joue le rôle de substance mauvaise conductrice et empêche les déperditions de chaleur. Il se chauffe et pénètre par de petites ouvertures rectangulaires dans les galeries de sole pour brûler les fumées. C'est un avantage de pouvoir disposer pour ce dernier usage d'air préalablement chauffé. C'en est un encore de consommer moins de briques qu'il n'en faudrait pour une maçonnerie pleine; mais il est clair aussi qu'on se flatterait à tort de permettre ainsi aux constructions le jeu *convenable* et que la solidité est moins grande que si les vides V étaient remplis de briques grossièrement concassées.

La charge de chaque four est de 18 hectolitres; la cuisson dure 24 ou 36 heures, suivant que la houille est plus ou moins maigre et que l'on veut obtenir un coke plus ou moins dense.

Le déchargement se fait au crochet. Il est aussi difficile, à peu près, que celui des fours Fromont, à cause de la grande longueur de la sole, et revient très-cher. On peut compter 1^{f},20 en moyenne pour la main-d'œuvre par tonne de coke fabriqué.

Le déchargement et le chargement se font alternativement pour les deux étages de 12 en 12 heures ou de 18 en 18 heures. On a ainsi l'avantage de charger dans un des fours au moment où les deux voisins qui le chauffent sont à la température maxima. On peut compter qu'il faut pour sept fours :

Deux chargeurs à la pelle;

Deux déchargeurs.

Le rendement pour les houilles un peu plus que demi-grasses ou pour les mélanges correspondant à cette qualité est à peu près de 72 p. 100.

Inconvénients des fours Gendebien. — Les inconvénients que présentent les fours Gendebien sont très-nombreux :

1° Nous avons montré que les gaz des deux étages de fours ne font pas tout à fait le même trajet; ceux des compartiments inférieurs passent par les carneaux F, tandis que ceux des autres n'ont pas de parcours correspondant. Il est clair qu'il y a un vice dans cette utilisation inégale des produits; mais ce défaut disparaît complétement devant un grand nombre d'autres plus graves.

2° Lorsque l'on charge un four, la température est, il est vrai, maxima dans les deux voisins et les parois latérales sont chauffées le mieux possible. Mais il n'en est pas ainsi dans les galeries de la sole et dans celles de la paroi du fond, qui ne sont parcourues à ce moment que par une faible quantité de gaz : de là ce double inconvénient que la charge ne peut être saisie par une chaleur initiale assez forte pour l'agglutination immédiate des houilles très-peu grasses que l'on cuit généralement dans le bassin de Charleroi; et que la charge étant chauffée sur ses diverses faces de manières inégales, le coke est irrégulièrement cuit.

3° Ce n'est pas seulement l'inégalité de chauffage au commencement de l'opération qui nuit à la qualité du coke, mais encore celle qui existe pendant toute sa durée en vertu de la disposition même de l'appareil. On voit en effet sur

la figure que les parois latérales sont chauffées dans chacun des compartiments de deux manières distinctes, et, à part cela, que les fours supérieurs chauffés aux environs de la sole par le contact des fours voisins, le sont plus que les compartiments inférieurs qui ne sont aux points correspondants chauffés que par la circulation des gaz dans les carneaux du bas. Il en résulte que l'on obtient deux qualités différentes de coke, celui d'en haut étant plus dense. Il faudra donc si l'on a à sa disposition des qualités différentes de houille charger en haut la plus maigre qui demande une température initiale plus forte, et, si l'on n'en a qu'une espèce, s'attacher à obtenir en bas un produit convenable, l'excès de densité de celui d'en haut n'étant pas généralement un inconvénient et pouvant même souvent être un avantage.

Quoi qu'il en soit, le coke obtenu est généralement noir et fendillé irrégulièrement dans tous les sens ce qui tient autant à l'inégalité du chauffage qu'à la présence des schistes qu'on laisse dans le charbon et qui occasionnent dans le coke la présence de 10 p. 100 de cendres en moyenne.

4° Un four étant chauffé par ses deux voisins, qui le sont eux-mêmes par les leurs, une réparation un peu longue dans l'un des fours nécessitera la suspension du travail dans tout un massif. Il faudra qu'elle soit de bien courte durée pour que l'on n'ait besoin d'arrêter qu'une batterie de trois compartiments.

5° Les fours des extrémités sont toujours très-mal chauffés à l'une de leurs parois et fournissent de mauvais coke.

6° Les portes sont hermétiquement lutées pendant toute l'opération. Mais il est impossible de considérer la cuisson comme une calcination en vase clos, car il ne tarde pas à se former dans la construction des fissures qui introduisent de l'air dans le four lui-même et ont le tort de le faire pénétrer dans la masse de houille ce qui occasionne un déchet.

7° Les ouvertures qui servent à l'introduction de l'air

chauffé dans les carneaux de sole sont trop grandes et trop espacées, en sorte que le mélange nécessaire à la combustion parfaite des fumées ne se fait pas bien. Nous avons pu nous en rendre compte en observant les conduits dans un four à moitié démoli. Partout où il se présente dans la circulation un coude brusque, la destruction des parois était très-nettement accusée, ce qui tient évidemment à ce qu'en ces points la résistance éprouvée par le courant rendait le mélange plus parfait et par suite la chaleur plus forte.

8° La construction est compliquée à cause des voûtes et les frais d'établissement considérables. L'existence des deux étages superposés complique les travaux d'un remaniement préalable du sol de l'usine.

9° Enfin la longueur des soles rend très-pénible le défournement du crochet qui est du reste inférieur au déchargement mécanique. La longueur des manœuvres refroidit considérablement le four et l'accès prolongé de l'air par la porte ouverte produit un déchet sensible.

En résumé, pour comparer les deux systèmes à deux étages que nous venons d'examiner ; si le four Fromont n'avait pas l'inconvénient irremédiable de l'encrassement rapide des conduits verticaux, et celui de la destruction et de la reconstruction difficile et coûteuse des soles supérieures, il serait bien préférable au four Gendebien, car il présente un chauffage bien mieux organisé. A notre avis il faut rejeter les deux appareils.

Nous ne croyons pas au reste que les fours Gendebien existent ailleurs qu'à Montigny et, là même, on est d'avis qu'ils ne rendent pas en qualité et en quantité ce que donneraient des fours à deux portes et à déchargement mécanique.

Fours Smits. — Après de nombreux essais comparés sur les fours Fromont, Dulait, etc., M. Smits, directeur-gérant de l'usine de Couillet, s'est décidé à y remplacer les fours ovales par des fours prismatiques, à une porte, ados-

sés, qui sont une modification de l'ancien système Brunfaut (*fig.* 15 à 17, Pl. I). On peut voir par cet exemple combien il importe, dans une usine considérable, d'établir une fabrication convenable du combustible des hauts fourneaux. En effet, bien que l'appareil de M. Smits laisse encore à désirer sous bien des rapports, comme nous le montrerons plus loin, sa substitution au système primitif économise sur les états antérieurs 10 à 12 p. 100 du coke employé par an dans les sept hauts fourneaux. Les gaz de la houille chargée dans le compartiment A s'en vont par une ouverture *a* pratiquée dans la paroi du fond et descendent par le carneau B ménagé dans cette paroi jusque sous la sole du compartiment adossé. Ils pénètrent par l'ouverture *b* dans les trois galeries CCC en chauffant ainsi cette sole. De là une ouverture *c* les conduit dans les carneaux latéraux D qui occupent la largeur totale du massif et ils s'en vont enfin par E à la cheminée. Les gaz du compartiment A' font un trajet analogue et chauffent ainsi la sole du four A et la paroi latérale de droite complète pour se rendre à la cheminée E'. Les conduits rectangulaires *o* servent à l'introduction dans les carneaux de la paroi intermédiaire, de l'air nécessaire à la combustion des gaz. On peut les boucher plus ou moins au moyen d'une brique. Les portes qui sont en fer garni à l'intérieur d'une maçonnerie réfractaire sont soigneusement lutées et présentent deux ouvertures que l'on ferme aussi hermétiquement que possible et qui ne sont destinées qu'à permettre d'observer l'intérieur du four pour voir où en est l'opération. On a soin de les boucher parfaitement aussitôt que l'on s'est assuré de l'état de la charge. Malgré ces précautions, les fissures qui ne tardent pas à se former dans la maçonnerie livrent à l'air un accès plus ou moins facile dans l'intérieur du four lui-même. De fortes armatures en fer traversent horizontalement la maçonnerie dans les intervalles qui existent entre les fours. Sous les carnaux de sole existent des fondations en maçonnerie

grossière très-solide. Elles sont traversées par de grands conduits cylindriques parallèles à l'axe du massif, de 1 mètre de diamètre, et par d'autres prismatiques plus petits situés entre les premiers et au-dessus. L'asséchement des fondations est ainsi parfaitement assuré.

Les 150 fours qui marchent à Couillet, et auxquels il faudra ajouter prochainement un massif de 16 pour suffire aux besoins de l'usine, se partagent en trois catégories d'après la charge qu'ils reçoivent. Ils contiennent dans l'ordre de leur ancienneté 30 hectolitres ou 20 hectolitres ou 14 hectolitres. Ce sont les premiers, dont la construction est la plus récente, et qui serviront de modèle pour tous ceux que l'on aura à construire désormais, que nous avons représentés sur les dessins. La cuisson dure 48 heures. On obtient un coke un peu noir très-dense et bien divisé. Pour obtenir cette qualité il est nécessaire de prolonger l'opération pendant deux jours car la houille dont on se sert est plus que demi-grasse. Elle arrive par un chemin de fer appartenant à la compagnie de la houillère de Marcinelle Nord. Elle est concassée sur le carreau des fours, partie au moyen de palettes, partie au moyen de broyeurs. Le premier procédé a été trouvé plus économique et va bientôt être employé seul. Les couches de Marcinelle sont excessivement tourmentées, en sorte que la houille arrive toujours assez sale. On ne la soumet pas à une épuration préalable. Cela augmente naturellement le rendement apparent ; aussi ne faut-il pas être étonné de le voir porté à 75 ou 78 p. 100. Deux ouvriers seulement sont chargés d'enfourner, de défourner, et d'éteindre le coke avec de l'eau qu'ils puisent dans des fosses alignées par 4 de part et d'autre d'un massif de 16 fours. On leur donne 75 centimes par tonne de coke fabriqué (ce coke pèse en moyenne 50 kil. à l'hectolitre). Ils mettent une heure à faire les manœuvres pour un four. Les gaz sont bien employés pour le chauffage des soles et des parois. Aussi, après le parcours de 23 mètres qu'ils ont à effectuer,

ne sont-ils plus assez chauds pour qu'il soit avantageux de les employer sous des chaudières.

Le grand avantage des fours Smits est la simplicité de leur construction. Ils ne comportent que des briques droites à part le petit nombre de celles qui servent à former les voûtes. Le prix d'établissement d'un four ne dépasse pas, nous a-t-on dit, le faible prix de 400 francs.

Si un four demande une réparation, comme il est tout à fait dépendant de son vis-à-vis, il faudra évidemment arrêter aussi ce dernier, mais ce sera le seul où le travail devra être suspendu, car les diverses batteries de deux fours n'ont entre elles aucune relation.

Les inconvénients des fours Smits sont les suivants :

1° Le déchargement et le chargement se font alternativement pour les deux côtés du massif. Cela est tout à fait nécessaire si l'on veut avoir une température initiale assez forte pour agglutiner la houille. Or, lorsqu'on chargera le four A, la sole et la paroi latérale de droite y seront bien fortement chauffées, puisqu'elles le sont par les gaz du four A' qui est à son maximum de chaleur ; mais la paroi latérale de gauche ne sera parcourue d'abord que par une faible quantité de produits volatils provenant de la charge A et sera par conséquent à une température beaucoup moindre. Il en résulte une inégalité de cuisson qui est, il est vrai, en partie compensée par la longue durée de l'opération.

2° L'air n'est introduit dans les carneaux que d'une façon beaucoup trop irrégulière. Le mélange qu'il doit former avec les gaz est très-imparfait et malgré le long parcours qu'il a à effectuer et le grand nombre de coudes qu'il rencontre, la combustion des produits volatils est loin de se faire aussi avantageusement que possible. On voit sortir presque toujours par les cheminées des fumées très-épaisses.

3° La largeur des fours qui est de $1^{m},10$ est beaucoup trop considérable pour l'agglutination initiale d'une charge

de houille un peu maigre. Cela peut avoir de très-grands inconvénients dans le bassin de Charleroi où l'on a intérêt à prendre pour la fabrication du coke cette dernière qualité. Si l'on n'avait pas la production actuelle du puits n° 6 de Marcinelle les frais d'achat de charbon pour les fours Smits seraient très-grands.

4° Enfin le défournement au crochet, quoique bien moins coûteux et moins pénible que pour les fours Fromont et Gendebien, à cause de la moindre longueur des soles, présente encore des désavantages sur le déchargement mécanique.

Fours de la société de l'Espérance, *fig.* 18 et 19, Pl. I. — Les gaz de la houille chargée dans le compartiment A trouvent près de la voûte, cinq ouvertures par lesquelles elles pénètrent dans les carneaux B qui les conduisent sur la sole ; ils chauffent cette sole et vont à la cheminée C. Les trois compartiments qui constituent une batterie avec le premier sont placés comme le montre la figure, chacun d'eux ayant sa cheminée.

Il faut remarquer que les divers carneaux B n'ont pas la même largeur. On les construit ainsi dans le dessein de diminuer l'inconvénient que présente l'arrivée des gaz sous la sole en divers points de la galerie G. De cette façon, les largeurs des carneaux augmentant progressivement la porte, on obtient, au commencement de G, le débouché de la masse principale des gaz. Quoi qu'il en soit, le chauffage de la sole ne se fait que bien imparfaitement, et si l'on a adopté ce système, c'est que la hauteur des fours étant très-considérable par rapport à leur largeur, le chauffage des parois latérales a paru plus important que celui des soles.

La disposition du massif permet l'installation très-facile d'une chaudière horizontale. Le trajet des gaz étant très-court, cette chaudière est parfaitement chauffée.

On charge 45 hectolitres par compartiment, ce qui est très-considérable. La houille est un peu plus que demi-

grasse. La cuisson dure 48 heures. Le rendement est environ de 73 p. 100.

Fours Dulait. — M. Dulait, fabricant de coke de Charleroi, qui a construit des fours dans diverses usines du bassin, et notamment à celle du Châtelet près Châtelineau, s'est donné en établissant son système, *fig.* 1 à 3, Pl. II, deux buts à remplir : 1° régulariser et diriger à volonté la combustion des gaz dans les carneaux qui chauffent la sole et les parois. Ce but n'est en effet que fort incomplétement rempli dans tous les appareils que nous avons décrits jusqu'à présent et qu'il nous reste à décrire ; 2° faire un four pouvant servir à carboniser les houilles plus maigres que celles de la qualité demi-grasse, que l'on rencontre dans le bassin de Charleroi en grande abondance.

Pour la carbonisation des houilles maigres, il est indispensable, comme nous l'avons déjà dit, d'avoir dans le four au moment du chargement une température considérable. Pour cela, la première condition est d'avoir fortement chauffé les parois et la sole pendant l'opération précédente ; elle est satisfaite par une introduction régulière et suffisante d'air dans les carneaux. La seconde est de refroidir le moins possible le compartiment pendant le défournement ; elle est remplie si le four est à une porte et si les gaz qui le chauffent proviennent en totalité d'un autre. Il sera nécessaire aussi de donner aux fours peu de largeur, afin que la chaleur initiale puisse pénétrer rapidement toute la charge. On aura ainsi cet autre avantage, de permettre à la masse un jeu moindre lors du boursouflement des matières bitumineuses, et par conséquent de provoquer contre les parois une pression utile à l'agglomération.

Toutes ces conditions sont remplies dans l'appareil adopté par M. Dulait. Il ne peut être considéré comme un vase clos, car lors même qu'il n'y a dans la porte aucune ouverture, les fissures qui se déterminent bientôt dans la maçonnerie introduisent toujours de l'air dans le four lui-

même, mais il est certainement de tous les appareils avec admission d'air, celui qui se rapproche le plus des conditions théoriques.

Les massifs sont composés de deux rangées de fours adossés. Les gaz de la houille chargée dans le compartiment A se dégagent par une ouverture pratiquée dans la paroi du fond, et vont par un carneau vertical B sous la sole du four adossé. Ils y pénètrent dans la grande galerie, M qu'ils suivent jusqu'en avant; ils se partagent ensuite en deux parties qui vont respectivement chauffer la paroi latérale de droite et celle de gauche. Si je prends la première, le parcours successif des carneaux RRR amène les gaz en avant; le conduit S les porte alors directement à la cheminée T. Pour la seconde, les gaz trouvent symétriquement aux premiers les carneaux R'R'R'S' et arrivent à la cheminée T' accolée à la première. Les flammes du compartiment adossé à celui que je viens de considérer suivent un parcours analogue et se rendent dans deux cheminées adossées à T et T'. On a donc ainsi entre les deux fours une grosse cheminée à quatre compartiments dont chacun correspond à une partie déterminée des carneaux. En observant la façon dont se fait le dégagement des fumées on peut se rendre compte de la manière dont se fait la combustion des gaz dans telle et telle portion de parcours.

Pour l'admission de l'air dans les carneaux, on a ménagé dans la maçonnerie des conduits tels que EE qui, débouchant circulairement au dehors, ont en coupe, dans l'intérieur, la forme d'un canal voûté. Ils courent parallèlement aux galeries où ils doivent porter de l'air, et communiquent avec elles au moyen de petits espaces ménagés entre les briques de distance en distance. Ils peuvent être fermés plus ou moins à leur ouverture au moyen de tampons d'argile. Chacun des carneaux étant desservi par une ou plusieurs de ces galeries à air, on voit qu'il sera toujours possible, par une position convenable donnée au tampon d'argile, d'y in-

troduire la quantité d'air convenable. Cet air, préalablement chauffé, est distribué par petits jets en un assez grand nombre de points de la colonne de gaz pour que le mélange et la combustion se fassent d'une manière régulière. Un ouvrier intelligent est occupé constamment à observer les produits dégagés par les cheminées. S'il sort d'un compartiment des fumées un peu épaisses, il donne immédiatement dans la partie correspondante des carneaux un plus libre accès à l'air. On comprend facilement que les tampons qui sont enlevés au commencement de l'opération doivent être tous placés vers le milieu et boucher de mieux en mieux leurs ouvertures à mesure que la cuisson s'avance.

Longueur du four.	2,50
Largeur du four.	0,80
Hauteur du four.	1,00

Les carneaux des parois latérales ont $0^m,24$ de hauteur et $0^m,12$ de largeur.

Quant aux carneaux placés sous la sole, ils ont : celui du milieu $0^m,30$ de largeur sur $0^m,18$ de hauteur; ceux des côtés $0^m,15$ de large pour la même hauteur.

Les carneaux de la voûte ont $0^m,22$ de largeur et $0^m,18$ de hauteur. Les carneaux à air ont une section de $0^m,0025$. Les ouvertures qu'ils présentent pour l'accès de l'air dans les galeries sont espacées de 10 en 10 centimètres. Il est clair qu'elles ne peuvent guère se boucher, car la poussière de charbon entraînée par les gaz se brûle très-facilement lorsqu'elle en approche. Les carneaux à gaz présentent tous, par une démolition très-simple, un accès facile pour le nettoyage. Les ouvertures pratiquées dans la voûte sont ouvertes pendant cette opération et permettent de faire tomber dans le four par un râclage les poussières qui se sont déposées dans les galeries supérieures. La charge est de 1,300 à 1.400 kilogrammes. Le chargement se fait alternativement de 12 en 12 heures pour deux fours adossés, afin que la

température soit maxima dans chaque compartiment au moment où il se fait. La durée de l'opération est donc de 24 heures. Un ouvrier, qui reste à peu près constamment à côté des fours, est chargé de surveiller les cheminées et le lut des deux portes. Le rendement est en moyenne de 70 p. 100; on nous a cité un rendement de 85 p. 100 obtenu avec un mélange de houille grasse et de houille demi-grasse; mais il est à supposer qu'on le devait à un four placé dans de meilleures conditions que ceux que l'on voit ordinairement, et que d'ailleurs les essais se faisaient avec des houilles assez sales, ce qui augmente naturellement le rendement apparent.

Le déchargement se fait au crochet : le coke obtenu est homogène, mais il est peu dense, ce qui tient au peu d'épaisseur de la charge et à la faible durée de la cuisson; il est impropre au service des locomotives.

Inconvénients des fours Dulait. — Les fours Dulait ont, comme nous l'avons dit, l'avantage de pouvoir cuire des houilles assez maigres et de donner un fort rendement. Cependant ils ne sont plus guère employés, et nous en avons vu dans certaines usines, particulièrement dans celle de M. François, à Marcinelle, que l'on a renoncé à réparer. Nous ne pensons pas que l'on songe quelque part à en construire.

Cela tient : 1° à ce que les frais d'établissement sont très-considérables; le nombre des carneaux à gaz et à air, la difficulté de bien percer ces dernières, qui traversent les briques une à une, font monter beaucoup le prix de la construction, et il y a lieu de croire que le chiffre de 1000 francs par four que l'on nous a donné est, si l'on emploie de bons matériaux, au-dessous de la vérité; 2° à ce que, au bout d'un an, le travail de la maçonnerie a toujours assez fatigué et engorgé les gargouilles à air pour qu'une réparation soit nécessaire, et elle est toujours très-longue et très-coûteuse.

A ces deux causes principales il faut encore joindre les

inconvénients que présentent le déchargement au crochet, la nécessité d'avoir des ouvriers intelligents pour surveiller la marche des fours, et la faible densité du coke, qui le rend impropre à certains usages.

Fours Eaton. — Au mois d'août 1861, M. Eaton introduisit dans le bassin de Mons le système particulier de fours à coke qu'il exploite depuis longtemps en Angleterre et qui fonctionne en France dans la fonderie de M. Voruz, à Nantes. Il en avait déjà à cette époque construit deux massifs, l'un à Élonges et l'autre à l'Agrappe; les deux venaient à peine d'être mis en feu. Nous nous bornerons donc à donner le principe; les détails de la construction sont représentés sur les *fig.* 4 à 9, Pl. II.

M. Eaton n'admet pas que l'air puisse pénétrer dans les compartiments qui renferment le charbon : d'après lui, il arrive seulement par les carneaux verticaux α jusqu'aux conduits qui emmènent les gaz à la cheminée, et là agit par sa pression pour en régler l'échappement. Les gaz, ainsi refoulés par la pression atmosphérique, séjournent dans le four et s'y brûlent tout seuls. Il est de toute évidence que les choses se passent bien différemment : la chaleur de la cuisson, ou simplement celle qui résulte de la mise en feu, détermine dans le lut des portes et en général dans la maçonnerie la formation de fissures, qui livrent à l'air un accès plus ou moins facile dans les fours. Pendant la marche d'une opération, cet air sert à brûler les principes volatils dégagés de la houille et procure ainsi la chaleur nécessaire à la carbonisation. Quant à l'ouverture α, elle ne joue d'autre rôle que de faire un appel d'air dans la cheminée; il n'est pas étonnant d'après cela, que l'appareil soit fumivore, car les principes charbonneux qui passent par le carneau très-étroit trouvent plus d'oxygène qu'il ne leur en faut pour se brûler rapidement dans ce carneau et dans la cheminée. Il est d'ailleurs certain que cet appel d'air en α gêne considérablement le tirage des gaz du four, et par conséquent

les fait séjourner assez longtemps dans le compartiment rempli de charbon.

Cela posé, on peut comprendre que M. Eaton arrive avec son appareil à réduire en coke des houilles assez maigres; la température d'un four est très-élevée au moment du chargement, puisqu'il n'est séparé que par de faibles cloisons de deux compartiments ayant à cet instant leur maximum de chaleur. Encore faudra-t-il que le défournement et le remplissage durent très-peu de temps, car il est certain que le violent tirage déterminé par la cheminée refroidirait considérablement toutes les parois dans un intervalle très-court; aussi M. Eaton, qui déchargeait d'abord ses fours au crochet, s'est-il décidé à leur appliquer le déchargement mécanique. Il a l'intention de construire désormais tous ses massifs comme il est indiqué *fig.* 8 et 9, Pl. II; cette nouvelle disposition permet le déchargement mécanique; elle est combinée de façon, en doublant le nombre des fours, à permettre dans chacun une plus grande hauteur de charge, en sorte que, malgré l'espace occupé par les nouvelles cloisons, le diamètre restant le même, la production sera plus forte qu'avec les massifs de douze compartiments.

La charge sera pour chaque four de 2.500 kilogrammes.

La durée de l'opération restera de 48 heures.

Les dépenses de construction pour un massif varient de 5.000 à 6.000 francs.

En somme, l'avantage du système que nous venons de décrire est dans l'économie d'emplacement, de frais de construction, et dans l'accumulation de chaleur que permet l'accolement circulaire des fours très-peu séparés les uns des autres. Il aura dans tous les cas l'inconvénient de l'inégalité de la cuisson du coke, car les gaz brûlants tendent naturellement à monter vers le fond du four où la quantité de houille est moindre qu'en avant, et où l'on a l'influence du massif qui supporte la cheminée fortement échauffé.

Il nous paraît impossible aussi que les pressions se répar-

tissent assez régulièrement pendant l'opération pour que les parois latérales durent bien longtemps avec la faible épaisseur qu'on leur donne, et une réparation un peu longue dans un compartiment entraîne nécessairement la suspension du travail pour tout le massif.

Enfin il nous semble difficile que le déchargement mécanique réussisse bien à enlever toute la masse de coke dans des fours coniques et, comme nous l'avons dit, pour la carbonisation des houilles maigres, il est très-important qu'il ne faille pas, après avoir retiré la crémaillère, perdre du temps à enlever des débris du gâteau restés le long des parois.

Quant au rendement, il ne peut être plus fort que dans les fours précédemment décrits; la cause de déchet, qui est l'introduction de l'air dans la masse même du coke par les fissures de la maçonnerie, reste la même; elle est peut-être au contraire plus puissante, car dans les autres fours certaines fissures amenaient l'air dans les carneaux de chauffe; ici elles aboutissent toutes aux compartiments.

Résumé. — En résumant les qualités et les inconvénients des fours à une porte dont nous avons donné la description, on voit que leurs avantages sont :

1° D'augmenter le rendement, car ils ne peuvent donner lieu au courant d'air qui s'établira toujours entre les deux ouvertures des fours à deux portes pendant le déchargement;

2° D'être plus propres que ceux-ci à la carbonisation des houilles maigres, car ils se refroidissent moins pendant le déchargement.

Ces deux avantages ont été constatés d'une manière précise dans un concours ouvert à Malines, en 1857, entre tous les systèmes belges.

Fours à deux portes. — L'avantage des fours à deux portes est tout entier dans le déchargement mécanique, qui pro-

duit une économie très-notable de temps et de main-d'œuvre. Il peut être, il est vrai, appliqué aussi aux fours à une porte, mais alors il est nécessaire de laisser pendant la cuisson, dans l'intérieur du four, la barre et le cadre qui servent à enlever le gâteau de coke, ou au moins le cadre tout seul, et la cémentation du fer qui les compose est une source de réparations et d'accidents très-fréquents.

Les *fig.* 10, 11 et 12, Pl. II, représentent l'appareil déchargeur adopté dans l'usine de M. François, à Marcinelle. Du reste, tous les systèmes sont fondés sur le même principe et ne diffèrent que par les dimensions des pièces, qui doivent être naturellement en rapport avec les dimensions des fours et la valeur de la charge.

On met généralement deux ouvriers à chacune des manivelles *m* : ils font ainsi tourner le pignon B placé sur l'axe *x*; la roue A commandée par ce pignon fait tourner l'arbre *y* qui porte le pignon E; ce dernier engrène avec la roue F, et met ainsi en mouvement l'axe *z* et la roue G. C'est cette dernière qui engrène avec les dents de crémaillère dont est garni le refouloir, et qui lui communique ainsi un mouvement horizontal dans un sens ou dans l'autre. Tel est le sens et la succession des mouvements lorsque l'on a à sortir du four un gâteau de coke ; lorsqu'il s'agira seulement de retirer la crémaillère, il sera très-important que l'axe *z* prenne un mouvement beaucoup plus rapide afin d'épargner du temps. Alors, par un simple mouvement de glissement des axes, on désengrènera A d'avec B et E d'avec F, on engrènera au contraire la roue G située sur l'axe *x* avec la roue D, située sur l'axe *y*; cette dernière commandent directement la roue G.

Les dimensions des roues sont :

Diamètres :	A	0,71	B	0,16	C	0,40	E	0,29
					D	0,40		
	F	0,90	G	0,25				

Le refouloir est composé d'un bouclier K de $0^{m},55$ de

haut et $0^m,60$ de large, fortement uni à la barre en fonte à crémaillère. Les dimensions de cette barre sont 12 mètres de longueur, $0^m,20$ d'épaisseur et $0^m,18$ de largeur; elle est portée en trois de ses points par trois roues qui circulent sur des rails parallèles à l'axe du massif. Les deux plus voisines du four sont réunies et forment un chariot qui porte le système des engrenages. Le refouloir porte à son extrémité antérieure un galet qui roule sur la sole du four; deux autres galets sont placés aux deux bouts du chariot.

Les fours auxquels est appliqué l'appareil que nous venons de décrire ont 6 mètres de longueur et $0^m,70$ de largeur.

On ne se sert pas toujours d'un refouloir pour sortir des fours le gâteau de coke. En cherchant à perfectionner le déchargement mécanique des fours à une porte, M. Talabot est arrivé à l'appliquer à une espèce toute particulière de fours à deux portes de son invention que nous allons décrire tout d'abord (*fig.* 1 à 6, Pl. III).

Fours Talabot. — Les fours Talabot, établis à l'Agrappe, à Denain et à Anzin, se distinguent de tous les autres par une forme particulière des compartiments et un système de déchargement mécanique qui, s'il nécessite l'existence de deux portes, permet au moins de faire d'un côté l'ouverture plus petite que de l'autre.

Les gaz de la houille chargée dans les compartiments A se dégagent des deux côtés par neuf ouvertures pratiquées près du sommet de la voûte dans les parois latérales. Les coupes transversales et la coupe entre deux fours indiquent très-nettement le parcours qu'ils font dans ces parois latérales. De la galerie elliptique B, où ils sont reçus tout d'abord, ils pénètrent par neuf carneaux verticaux dans la galerie B', et de là par sept ouvertures dans la galerie C. De là ils passent par un seul trou dans la galerie de sole D, où sont réunis les gaz qui ont chauffé les deux parties symétriques; ils se rendent enfin, par une ouverture placée au

bout de cette galerie, dans un grand conduit commun à douze fours, et aboutissant à une cheminée unique.

Les gaz de deux fours accolés se mêlent, comme on le voit, pour chauffer la paroi intermédiaire et les deux soles.

Nous appelons partie antérieure celle par où sort le gâteau de coke; la partie postérieure présente deux ouvertures superposées; l'inférieure sert à placer le bouclier qui la ferme complétement; la plus petite, qui est au-dessus, sert à introduire les instruments destinés à égaliser la charge. La sole est inclinée de 1/50 environ d'avant en arrière pour faciliter le glissement du coke.

L'air est introduit directement dans le four; de petits carneaux percés suivant l'axe au-dessus du compartiment communiquent avec ce dernier par quatre conduits verticaux répartis sur la moitié de la longueur. Il y a pour la longueur du four deux de ces carneaux séparés par l'orifice de chargement; on peut les boucher plus ou moins avec une brique; ils servent à la fois, pour l'air, de réservoir et d'appareil de chauffage. Les dimensions moyennes de l'ellipse, qui est la génératrice du compartiment, sont de 1^{m},25 sur 1^{m},35; la longueur est de 4 mètres.

Les fours de l'Agrappe sont au nombre de 48, partagés en deux massifs de 24; chacun de ces massifs est lui-même décomposé en deux batteries de 12 fours ayant chacune sa cheminée à une extrémité. La disposition générale est fort bonne; les deux massifs étant séparés par une tranchée traversée par le chemin des houillères, Sainte-Hortense, l'Agrappe, Griseuils, le coke est amené immédiatement au-dessus des wagons.

Nous allons étudier tout le cours d'une opération à partir du chargement : il se fait mécaniquement. Tout le long du massif, au milieu de sa largeur, règne sur la plate-forme supérieure un chemin de fer sur lequel circulent des wagonnets contenant la houille toute broyée. Entre les deux rails s'ouvre, au sommet de la voûte de chaque four, un

orifice circulaire de $0^{m},45$ de diamètre que l'on peut fermer au moyen d'une plaque en fonte ; lorsque l'on veut charger un compartiment, on amène au-dessus de lui une série de wagons ; en tirant la plaque mobile qui en forme le fond, on fait tomber le charbon qu'ils contiennent dans l'ouverture. Pendant ce temps, un ouvrier placé en bas égalise la charge par la porte spéciale au moyen d'un long ringard. La houille qui est tombée à côté du trou y est poussée le plus rapidement possible ; et on replace la plaque en fonte ; on s'occupe aussitôt de fermer les portes : cette opération se fait facilement pour celles qui sont placées au fond du four. Le bouclier, qui présente à sa partie inférieure une ouverture correspondant à une rainure qui règne sur toute la longueur de la sole, est mis en place et soigneusement luté.

La porte antérieure, formée d'une épaisse plaque en fonte garnie intérieurement d'une couche de briques réfractaires, se manœuvre au moyen d'uue grue portée sur un petit chariot qui, roulant sur une voie ferrée spéciale placée à la partie antérieure du massif, la transporte successivement au-dessus de chaque four. Pour ouvrir les fours, on soulève la porte après avoir enlevé le lut ; pour fermer, on la laisse retomber. Deux avancements qu'elle porte viennent se poser sur deux pièces de fer fixées solidement dans le mur ; lorsqu'elle est en place, on lute soigneusement les joints. La charge est de 3.900 kilogrammes pour chaque four. Une cuisson de 48 heures suffit pour obtenir un coke très-dense et tout à fait propre au service des locomotives ; on laisse cependant quelquefois le coke pendant 72 heures dans les fours. L'opération terminée, on détache le lut et on enfonce à coups de masse dans la rainure inférieure une longue barre de fer qui porte à son extrémité postérieure une oreille saisissant bien le bouclier ; l'autre bout dépasse la porte antérieure : on y adapte une chaîne qui est reliée à un cabestan circulant sur trois rails parallèlement au massif, comme celui que nous avons déjà décrit ; le gâteau est enlevé. On

obtient en moyenne 2.900 kilogrammes. Le rendement en grand est généralement de 3 à 5 p. 100 moins élevé que le rendement au creuset. Le saumon trouve en sortant du four une maçonnerie circulaire ayant la même inclinaison que la sole, dans laquelle il glisse facilement ; on jette dessus pour l'éteindre une petite couche de fraisis ; l'extinction se fait dans un intervalle de 15 à 36 heures. Le coke obtenu est argentin et de bonne qualité ; seulement il est mal divisé et peut renfermer, lorsque l'on cuit des houilles seulement demi-grasses, un pied noir au centre de la charge.

Une batterie de 12 fours occupe huit chargeurs, quatre tireurs au treuil, deux hommes pour lever les portes.

Les dimensions que l'on donne d'habitude aux compartiments rendent le four Talabot propre à cuire surtout les houilles grasses ; il a l'avantage de donner un bon rendement et celui de ne demander que rarement des réparations ; car la forme cylindrique, en permettant un jeu facile à la charge pendant sa dilatation, empêche la formation d'arcs-boutants contre les parois latérales, et élimine ainsi une des causes principales de la destruction des fours, surtout lorsqu'on y traite des houilles grasses. C'est à ce dernier point de vue seulement qu'il l'emporte sur les fours rectangulaires que l'on a construits dans plusieurs localités exactement d'après les mêmes principes.

Ceux-ci ont, au contraire, l'avantage de ne coûter que beaucoup moins de frais d'établissement, de donner une meilleure division du saumon de coke, et enfin de présenter une surface libre moindre à l'accès de l'air pour une même charge, c'est-à-dire de donner moins de déchet.

Fours François. — M. François possède depuis longtemps à Marcinelle, près de Charleroi, une usine à coke. Il y a remplacé dans ces dernières années les fours Dulay par un système de son invention *fig.* 7 et 8, Pl. III ; chaque moitié du four se chauffe elle-même et est environnée complétement par ses flammes ; deux ouvertures situées

tout près des portes, au sommet de la voûte, leur permettent de se dégager des compartiments. Après avoir parcouru les trajets indiqués par les flèches, les gaz des deux moitiés se réunissent dans une cheminée commune, en A, au milieu du massif. Le déchargement est mécanique. Comme presque tous les fabricants, M. François vend du coke pour locomotives et pour hauts fourneaux : pour le premier il emploie de la houille lavée.

Le menu sortant de la mine est mis en tas, et pris par une noria qui le porte dans une trémie, au-dessus de deux cylindres cannelés superposés à deux cylindres lisses.

Le broyage effectué, le charbon passe dans un crible en toile métallique, de $1^{m},80$ de longueur sur $0^{m},60$ de diamètre, légèrement incliné ; on fait tourner ce crible à la main ; le menu qui passe à travers les mailles est directement chargé dans les fours. La partie qui sort du cylindre et qu'on appelle têtes de moineaux est composée de grains de la grosseur d'une noix ; elle est lavée et sert à faire le coke pour locomotives. Une petite machine à vapeur sert à faire mouvoir les broyeurs, la pompe alimentaire et le piston du lavoir. Le charbon fin entraîné par les eaux n'est pas recueilli ; après le lavage les têtes de moineau sont broyées et chargées pour coke de locomotive.

La charge est de 1.800 kil.

La durée de l'opération 24 heures.

La hauteur du charbon cuit $0^{m},65$.

Le rendement 75 p. 100 pour la houille non lavée.

La durée du chargement et du déchargement 15 minutes pour un four, 7 ouvriers sont employés à un massif de 12 fours. Ils ont $0^{f},70$ par tonne de coke, ce qui porte en moyenne leur journée à $3^{f},50$.

Le coke pour locomotives est vendu 23 francs la tonne.

Le coke pour hauts fourneaux est vendu en gros 18 francs la tonne, en détail 20 francs.

Les fours François sont très-simples comme construction.

Le chauffage se fait régulièrement dans les grands carneaux ; mais il est naturellement moins énergique que lorsque les gaz parcourent plusieurs fois la longueur de la sole et des parois latérales. Chaque four se chauffant lui-même ; les réparations que l'on peut avoir à faire dans l'une ne nécessitent pas la suspension du travail dans les voisins, mais le refroidissement au moment du chargement est très-rapide. Cette cause, unie à la précédente, empêche le traitement des houilles un peu maigres. Celles que M. François achète aux charbonnages de Marcinelle sont à peu près aux trois quarts grasses. L'admission de l'air ne se fait pas dans les carneaux, mais directement dans le four. Trois ouvertures sont percées dans chacune des portes. Il n'y en a jamais qu'une ouverte ; elle est dans la porte qui n'est pas directement exposée au vent. Encore ne reste-t-elle débouchée qu'une heure au commencement de l'opération. Après ce temps les fumées commencent à devenir beaucoup moins denses et les fissures de la maçonnerie procurent la quantité d'air nécessaire pour les brûler.

Fours Coppée. — Nous avons déjà cité l'usine de M. Coppée à propos de fours à une porte : les fours à deux portes, à déchargement mécanique *fig.* 9 à 13, Pl. III y seront bientôt les seuls employés. On n'y fabrique absolument que du coke pour locomotives. La houille fournie par le charbonnage de Haine-Saint-Pierre donne environ 13 p. 100 de cendres. Un lavoir très-simple, sur le modèle duquel M. Coppée en construit un actuellement à la Villette, la purifie assez pour que le coke ne renferme plus que la proportion réglementaire de 6 p. 100.

Le charbon menu fourni par la mine passe sur un crible. La partie qui échappe est vendue. La poussière grossière est prise par une noria qui la déverse dans une trémie au-dessus de deux cylindres cannelés, superposés à deux cylindres lisses. Le charbon broyé tombe sur une plaque de tôle inclinée qui le fait glisser dans le lavoir. La houille

mise en suspension dans l'eau par le mouvement d'un plongeur situé dans un réservoir voisin, se superpose au schiste, et entraînée par le liquide traverse une grille métallique inclinée. Un ouvrier constamment occupé à râbler sur cette grille la fait descendre dans les réservoirs.

Une machine à vapeur de 7 chevaux fait mouvoir à la fois les broyeurs, le piston plongeur, une pompe amenant l'eau au réservoir R et une autre qui alimente une chaudière installée sur le massif des fours à coke. L'eau est prise à 50 mètres et vient des galeries de découlement d'un charbonnage voisin. (Le puits qui la fournit traverse trois couches de houille. Le terrain houiller n'est qu'à 15 mètres du sol.)

Le charbon sortant du lavoir descend par un plan incliné dans deux réservoirs communiquant entre eux. L'eau le laisse déposer et filtre à travers une pomme d'arrosoir dans un autre compartiment. Elle est encore chargée de houille très-menue qui se dépose dans ce bassin. On peut au moyen de robinets faire écouler quand on veut l'eau des trois cases. Lorsque le temps est beau, en 12 heures le charbon déposé dans les premières cases est assez sec pour qu'on puisse l'enlever. Il ne contient plus que 7 p. 100 d'eau.

La poussière ténue recueillie dans le troisième compartiment sert à enduire les moules dans les ateliers de moulage de fonte.

Les massifs de fours à coke sont formés d'un certain nombre de couples de compartiments accolés. Les flammes de la houille chargée en A et en B se dégagent par huit ouvertures percées près de la voûte dans chaque paroi latérale, et descendent par autant de carneaux verticaux sous la sole de B; de là ils passent sous la sole de A et vont parcourir successivement les deux galeries D pour se diriger ensuite vers la cheminée. De cette façon les fours du milieu du massif se trouvent très bien chauffés, mais il se présente une difficulté pour le couple extrême de droite dont la pa-

roi de droite ne serait pas chauffée si on le disposait comme les autres. On se contente de le retourner ; sa paroi de droite est alors chauffée par les galeries D ; quant à sa paroi latérale de gauche elle est chauffée par le contact avec le compartiment voisin de gauche. Il se trouve qu'en somme le four de gauche du couple extrême de droite est le plus chauffé.

La disposition des fours les laisse tous dépendant les uns des autres, ce qui est mauvais lorsqu'on a à effectuer une réparation. De plus, lorsqu'on décharge le compartiment A, la paroi *p* du voisin n'est plus chauffée que par la moitié des gaz qui chauffent la paroi *p'* ; la paroi de droite du four de gauche n'est plus non plus aussi bien chauffée que pendant le cours de l'opération. Le défournement n'est heureusement pas long, car cela pourrait altérer notablement la qualité du coke.

L'air a accès directement dans le four par des trous pyramidaux que l'on peut boucher plus ou moins au moyen d'une glissière en fonte.

La sole étant légèrement inclinée et les parois un peu évasées du côté où sort le coke, les ouvertures situées du côté du refouloir sont moins grandes que celles du côté opposé ; aussi les premières sont-elles fermées par une porte unique tandis que les autres sont fermées par deux portes superposées. Cela a pour effet de diminuer la pesée sur les gonds. La charge est de 5.100 kil. La durée de la cuisson de 24 heures. Le rendement est de près de 75 p. 100. Le coke obtenu est dur, un peu noir, très-dense. Il se vend 20 francs la tonne. Le déchargement et le chargement d'un four durent 20 minutes. Six hommes sont occupés à pousser au cabestan pendant qu'un septième arrose le tas qui s'avance. Ils se réunissent ensuite à ce dernier pour achever l'extinction et renverser le saumon. On leur donne 1 franc par tonne de coke. Ils en livrent à peu près 25 par jour, provenant de 7 fours.

Une chaudière horizontale repose sur les cinq premiers fours du massif. Ces fours peuvent envoyer leurs fumées à leurs cheminées respectives, ou si on ferme les clapets de celles-ci à une grande cheminée unique. Dans ce cas les gaz circulent dans le double carneau de la chaudière. On peut en fermant plus ou moins de clapets diminuer comme l'on veut la production de vapeur.

Fours Fabry. — Le point principal dans l'invention de M. Fabry est l'idée de faire les fours extrêmement étroits. Leur largeur n'est que de $0^m,40$. Par ce moyen, pourvu que la température au moment du chargement, soit suffisante, on est sûr de l'agglutination des houilles maigres, et on peut obtenir avec des houilles grasses des cokes assez denses. Mais il se présente un grave inconvénient, c'est celui de la destruction rapide des maçonneries ; en effet, quelle que soit l'épaisseur que l'on donne aux parois, les pressions qu'elles éprouvent lorsque l'on traite des houilles un peu grasses les mettent promptement hors de service. C'est là la raison qui a fait abandonner presque partout le système que nous allons décrire. Nous en avons vu des représentants à la Louvière ; mais l'inventeur lui-même emploie dans son usine des fours du genre Smet.

Les *fig.* 1 et 2, Pl. IV, suffisent pour faire comprendre la marche des flammes. Elles sortaient dans le principe des compartiments par un grand nombre d'ouvertures ménagées entre les briques et ne présentant que quelques millimètres de largeur ; mais il est facile de comprendre que ces bouches de dégagement devaient s'encrasser très-promptement et il a fallu y renoncer. Elles sont remplacées par de grandes ouvertures situées tout près des portes.

Marche des flammes. — Un massif est décomposé en batteries de trois fours intimement liés les uns aux autres. *Fig.* 1, Pl. IV. Les gaz du four A sortent de chaque côté par les deux ouvertures ménagées dans les parois latérales. Les deux moitiés font des trajets différents. Je prendrai la

moitié de droite. Les deux courants qui la composent entrent dans le four B, et en sortent par deux ouvertures placées l'une à côté de l'autre au milieu de la paroi de gauche.

Ils suivent encore des trajets différents. Prenons seulement l'un d'eux, celui qui sort en avant. Il passe dans le carneau C qu'il suit jusqu'en avant, puis dans la galerie de sole de A qu'il suit jusqu'au milieu, puis dans la galerie de sole de B_1 qu'il suit jusqu'en avant, puis dans le carneau C' qu'il suit jusqu'au milieu, et enfin il prend la cheminée placée au milieu du massif. Il est facile de voir la marche des autres courants.

La moitié de tous les gaz dégagés par les trois fours chauffe chacune des parties de la galerie de sole de A. Les soles des autres compartiments ne sont chauffées que par le quart de ces gaz.

Les parois latérales ont leurs moitiés chauffées toutes également par le quart des gaz.

Batteries extrêmes. — Une batterie englobée dans un massif participe à la chaleur de celles qui l'environnent. Le chauffage ne serait plus assez énergique s'il restait pour celles des extrémités disposé de la même manière. En conséquence, le massif est terminé des deux côtés par une batterie de deux fours représentée par la *fig.* 2. Le four β est le dernier. La moitié des gaz de α sort en avant, gagne le four β qu'elle suit jusqu'au milieu, et, augmentée de la moitié de ceux de ce dernier, passe dans le carneau γ qu'elle suit jusqu'en avant, puis dans le carneau δ qu'elle longe jusqu'au milieu.

Là elle rencontre la cheminée. La paroi extrême est donc chauffée en somme par la valeur des flammes d'un four au lieu de l'être par les 1/4 des flammes de 3 ou les 3/4 d'un. Il en est de même des deux parois accolées. Aussi les deux batteries extrêmes sont-elles beaucoup mieux chauffées que les autres, et cette irrégularité oblige à prendre de grandes précautions dans la conduite de la cuisson. Il est arrivé

qu'elle s'y achevât en 18 heures ; les briques avaient été fondues.

Un massif se compose ordinairement de 13 fours, 3 batteries de 3 et 2 de 2. Il peut ne présenter que deux cheminées aux extrémités, chacune des deux moitiés dégageant ses gaz dans un gros conduit ménagé au-dessus des fours dans la maçonnerie.

Fours de la Louvière. — Le charbon employé est très-souvent un mélange formé de 3/4 de gras et de 1/4 de demi-gras. Il n'est pas lavé.

Le chargement se fait par la partie supérieure. Des deux côtés du massif s'alignent des trémies dont l'ouverture est un carré de 25 centimètres de côté, débouchant chacune au sommet d'un four, près de la porte.

Un plan incliné en planches permet d'amener sur la plate-forme des brouettes chargées de houille. Pour faire l'opération pour une trémie, on ferme celle-ci au moyen de sa plaque en fonte, qui est garnie d'un anneau, et on passe dans cet anneau une barre de fer de $0^m,80$ de long, terminée par un crochet. On verse la brouette sur la plaque, qu'on retire ensuite verticalement. Presque tout le charbon tombe par la trémie. La partie amoncelée sur les bords est poussée avec le pied. En bas, de chaque côté du four, un ouvrier égalise la charge. Les portes sont formées de deux battants superposés, et dans la première partie du chargement le ringard qui sert à planer la surface est appuyé sur le battant inférieur fermé. Les plaques qui ferment les trémies peuvent être enlevées, si la houille trop grasse donne, au commencement de l'opération, des fumées trop épaisses.

La charge est de 2 tonnes. La cuisson dure 24 ou 48 heures, suivant la nature de la houille. L'air est introduit dans le four par des ouvertures percées dans la porte, qu'on peut boucher avec du sable pris sur le tas *f*, et par des ouvertures situées au-dessus, qu'on peut boucher aussi plus

ou moins. Généralement 2 heures après le chargement tout est bouché.

Le rendement est de 65 à 70 p. 100; la moyenne d'un grand nombre de cuissons faites dans ces derniers temps à la Louvière était de 70,68.

Le déchargement se fait avec un refouloir R d'un nouveau modèle, embrassant le gâteau de coke. La sole est légèrement inclinée et les parois légèrement évasées vers le côté où sort le saumon.

La différence de largeur du four aux deux ouvertures est de $0^m,06$. 4 ouvriers sont occupés à défourner et à charger. En 10 heures, un massif de 13 fours est déchargé et remis en marche. La main-d'œuvre coûte $0^f,80$ par tonne de coke fabriqué.

Le coke est vendu 17 à 18 francs la tonne.

Fours Smet. — Les fours Smet joignent à l'avantage du défournement mécanique ceux de la simplicité et du bon marché de la construction, et d'une circulation très-convenable des gaz. Ils sont actuellement très-répandus en Belgique et tendent à se substituer à presque tous les autres systèmes. On a plus ou moins altéré, dans les différentes usines, suivant la nature de la houille, les dimensions du type primitif. Les *fig.* 3 et 4, Pl. IV, représentent l'appareil employé à Châtelineau; il a été construit sur les dessins de M. Lickson, qui, tout en simplifiant la construction, l'a parfaitement approprié au traitement des houilles demi-grasses.

Les flammes du compartiment A sortent par deux ouvertures pratiquées à 2 mètres des portes dans la paroi latérale de droite. Les 2 moitiés suivent des trajets différents. Elles circulent successivement dans deux carneaux latéraux, dans deux galeries de sole, et, se trouvant alors au milieu, elles vont droit à la cheminée *c*. M. Lickson a réglé très-simplement cette marche par une cloison régnant dans les carneaux de soles et de parois dans toute la longueur du

massif. Ainsi, un four chauffe sa paroi latérale de droite et sa sole; la paroi de gauche est chauffée par le voisin de gauche. De cette façon, il se présente une difficulté pour le compartiment extrême de gauche, dont la paroi de gauche n'est pas chauffée. On la surmonte en partie en pratiquant dans cette paroi des carneaux disposés comme les autres galeries latérales et en les faisant parcourir aux gaz lorsqu'ils sortent des galeries de sole; mais il est certain que le dernier four restera toujours ainsi moins chaud que les autres.

Les fours se déchargent l'un à la suite de l'autre à partir du commencement du massif. Malgré la rapidité de l'opération, le refroidissement se fait assez vite pour qu'on ne puisse guère, avec les dimensions indiquées, employer des houilles moins que demi-grasses.

La sole est inclinée de 0^{m},02 dans le sens du défournement; elle est continuée par une aire en briques soigneusement faite présentant la même pente.

Les cheminées qui ont une hauteur de 0^{m},56 peuvent être fermées en haut par des clapets.

L'air est admis directement dans le four par des ouvertures pratiquées dans les portes.

Les murs qui s'avancent des deux côtés, entre les fours ont 0^{m},60 d'épaisseur; le massif est terminé à ses deux extrémités par des maçonneries de 1^{m},60 d'épaisseur, destinées à la fois à roidir la construction et à empêcher les déperditions de chaleur. La maçonnerie qui surmonte les voûtes a 0^{m},60; elle est coupée dans toute sa longueur par une couche de sable.

Les fondations sont traversées par trois galeries d'assèchage dont la section est un carré de 15 centimètres de côté. Elles se relèvent verticalement en dehors du massif pour permettre l'échappement de la vapeur et sont terminées par des tubes en fonte. 50 trous de moineau, de 6 centimètres de côté, les réunissent entre elles dans leur lon-

gueur. Des armatures en fer s'élèvent verticalement dans les intervalles qui séparent les fours. Elles sont réunies chacune par deux barres horizontales.

La houille venant du Gouffre, un des charbonnages les plus importants du bassin de Charleroi, est concassée au moyen de palettes par des femmes auxquelles on donne $0^f,20$ à $0^f,25$ par tonne. Elle est chargée à la pelle par deux ouvriers placés de chaque côté du massif. Chaque four contient 1,300 kil.; la hauteur de la charge est de $0^m,60$.

Au commencement de l'opération, l'air a accès par l'ouverture supérieure de la porte qui n'est pas exposée au vent. Le maître calcineur suit par cette ouverture les progrès de la cuisson. Lorsqu'il commence à voir bien clair dans le four, c'est-à-dire lorsque les produits volatils sont déjà en grande partie éliminés, il bouche le trou avec de l'argile. Cela arrive généralement 6 ou 7 heures après le chargement. La cuisson dure 24 heures.

Au bout de ce temps, les clapets des cheminées sont fermés, les portes délatées et ouvertes, et on fait le défournement.

Le service d'un massif est fait par 4 calcineurs, 2 manœuvres et 2 femmes qui jettent de l'eau. Pendant que les 4 calcineurs tournent au cabestan, les autres jettent de l'eau sur le saumon qui s'avance ; puis deux des premiers restent pour charger tandis que les autres se joignent aux femmes et aux manœuvres pour achever l'extinction. Ils retournent ensuite le tas qui a été porté à $1^m,60$ des fours.

Les instruments dont ils se servent sont les mêmes que ceux des fours Fromont (*fig.* 5 *et* 6, Pl. IV), seulement les ringards sont moins longs.

L'eau est puisée dans des réservoirs alignés le long des fours de 4 en 4.

Les prix des journées sont :

Pour les calcineurs, 3 francs pour 20 fours, $3^f,40$ pour 24 fours ;

Pour les manœuvres, 2f,50;

Pour les femmes, 1f,40.

Le déchargement dure 8 minutes, le chargement 6.

Le rendement est de 75 p. 100 (la houille n'est pas lavée).

Le coke obtenu est gris clair et passablement poreux.

Lorsque le charbon est un peu gras, le saumon présente à sa partie supérieure une tranche noirâtre et friable. Cela provient de la distillation trop rapide de la couche supérieure de houille par la chaleur de la voûte.

La quantité d'eau est en moyenne de 5 p. 100.

La construction d'un four revient à 600 francs; la campagne peut aller à 10 ans.

Four Appolt.—Nous n'entrerons pas dans l'exposition du principe et de la construction générale des fours Appold; elle est donnée tout au long dans une brochure publiée par les inventeurs, éditée par MM. Dalmont et Dunod, et reproduite dans les *Annales des Mines*, 5e série, tome XIII, page 417. Nous indiquerons seulement quelques points du traitement dont la défectuosité nous a frappé pendant notre visite à Sultzbach, et les chiffres principaux.

Fours de Sultzbach. — La houille dont on se sert est à peu près aux $\frac{3}{4}$ grasse; elle provient de la mine de Duttweiler. Elle est broyée et lavée avec soin. Comme elle est assez dure, on se sert pour le broyage d'espèces de gros moulins à café analogues à ceux que M. Dieudonné, inspecteur au chemin de fer de l'Est, a décrite à propos des fours de cette compagnie qui sont installés à côté de ceux de M. de Wendel.

Ils sont au nombre de 5. Le charbon qui en sort est pris par une chaîne à godets qui le porte dans un cylindre trieur. Il y est divisé en poussière et 3 parties à grains de grosseurs différentes. La poussière, que l'on suppose pure à cause du peu de friabilité des schistes, est bonne pour le chargement. Les 3 autres parties vont au lavoir.

A chaque moulin correspond un lavoir dont l'invention appartient à M. Rexroth. Il donne environ 100 tonnes de houille lavée en 10 heures. Chacune des parties du charbon est jetée dans un bac sur une toile métallique. Un piston creux qui se meut dans un compartiment accolé et par lequel se fait l'alimentation donne à l'eau un mouvement qui détermine la réparation de la houille et des schistes ; la houille est entraînée par l'eau dans un compartiment voisin ; les schistes restent sur la toile, et lorsqu'ils sont en assez grande quantité, on peut en séparant en deux la toile métallique les faire tomber dans un cylindre où se meut une vis qui les porte au dehors.

Les trois bacs correspondants aux trois grosseurs de houille sont accolés et le compartiment où est tombée la houille est commun aux trois. Une vis qui s'y meut opère le mélange des qualités et déverse le tout dans un cylindre. Une autre vis qui tourne dans celui-ci le précipite dans les wagons de chargement.

Dans le système Appold, les divers compartiments où se fait la cuisson sont réunis dans un massif en plus ou moins grand nombre, et chacun d'eux participe à la chaleur de la masse. Il est clair que si cela est un avantage, il se présente en regard un notable inconvénient. Le fours placés au centre sont beaucoup plus chauffés que ceux des bords, et s'ils contiennent la même espèce de houille, ils fourniront un coke plus dense et mieux cuit. L'important est d'arriver à ce que l'opération donne de bons résultats pour les fours extrêmes ; l'excès de densité étant un moindre inconvénient que l'incomplète cuisson. Mais il n'en reste pas moins le grand désavantage, pour le cas où le coke est destiné aux usages métallurgiques, d'introduire dans les hauts fourneaux des charges de combustibles de valeurs différentes. Il est important de faire avec soin le mélange des différentes qualités dans le réservoir commun. D'après cela, on a dû chercher par tâtonnements

quel était le nombre de compartiments le plus avantageux. Différents essais ont montré que les massifs de dix-huit devaient être préférés. Les expériences ont porté sur 6, 12, 18, 27.

Les dix-huit fours sont rangés par lignes de six.

La hauteur du massif est de 7 mètres.

Les compartiments ont 4 mètres de profondeur; leur section inférieure est un rectangle de $0^m,45$ sur $1^m,25$. L'inclinaison des parois est de $0^m,06$ pour la hauteur. Les parois ont $0^m,66$ d'épaisseur.

Les ouvertures qui servent à la prise des gaz sont en bas au nombre de vingt-cinq; en haut il y en a quatre sur chacun des grands côtés. Généralement deux seulement sont ouvertes sur les quatre.

Dans les fours de Marquises, le dégagement des gaz se fait des deux côtés du massif par douze carneaux, trois en haut et trois en bas pour chacun des grands côtés. Chacun des systèmes de trois débouche dans une grande galerie qui court longitudinalement à la partie supérieure. Il y a donc ainsi quatre galeries débouchant deux à deux dans les deux cheminées. M. Rechroth, dans les nouveaux massifs qu'il fait construire simplifie la construction et augmente la facilité du règlement du tirage, en faisant déboucher de chaque côté les gaz dans une seule galerie.

Les espaces remplis de briques concassées qui font le tour du damier formé par les fours ont des épaisseurs proportionnelles à la longueur des côtés qu'ils longent. Elles sont respectivement de $0^m,20$ et de $0^m,15$.

Les châssis qui supportent les parois des compartiments, reposent par leurs longues faces sur des poutres en fonte. On avait ménagé dans ces poutres des trous verticaux destinés à offrir à l'air un nouvel accès dans les carneaux; il a été reconnu que cela n'était pas nécessaire et actuellement on les ferme. Il nous semble cependant qu'il y aurait intérêt à les employer, dût-on, si la quantité totale d'air

admis était trop grande, restreindre les ouvertures des faces latérales. Cela aurait pour effet de produire plus sûrement le mélange des gaz et de l'air dans les carneaux.

Les wagons de chargement contiennent chacun une tonne; ils circulent sur des rails passant entre les orifices des fours et peuvent être vidés par un mouvement de bascule qu'on leur donne latéralement au moyen d'une espèce de cric.

Si on chargeait la houille à partir de la plaque inférieure de fermeture, cette porte serait rapidement détériorée par l'action du feu; il y aurait de plus une forte déperdition de chaleur emportée par les courants d'air qui règnent sous les voûtes. Aussi charge-t-on tout d'abord avant de jeter le charbon, $0^{m},30$ de fraisil à la partie inférieure.

Ce chargement se fait au moyen de trémies réunies deux par deux au moyen d'un axe autour duquel elles peuvent tourner, et portées par un chariot qui circule sur les rails au-dessus des différents orifices.

La charge est de 1.300 à 1.400 kilogrammes. Suivant leur position dans le massif, la cuisson dans les fours dure 24, 23, 22 et même 21 heures. On défourne au bout de 24 heures seulement. Le rendement moyen avec les houilles de Duttweiler est de 67 à 68 p. 100.

Nous avons vu effectuer le déchargement pour quelques fours ; il s'est chaque fois fait très-facilement, et dans un cas seulement on a été obligé pour produire la descente de donner à la partie supérieure du saumon un petit coup de ringard.

Les wagons de déchargement contiennent la charge d'un four. Leurs parois sont garnies de briques réfractaires. On y éteint le coke par aspersion d'eau.

Les inconvénients généraux des fours Appold sont les suivants :

1° Comme nous l'avons déjà expliqué, on obtient diverses qualités de coke à ceux de l'inégalité de chauffage des compartiments ;

2° Le broyage de la houille doit être fait avec beaucoup de soin ; si la charge n'est pas parfaitement homogène, le retrait ne s'effectue pas à tous les niveaux de la même manière ; il en résulte que lorsqu'on ouvre la porte la masse ne tombe pas, et qu'il est nécessaire pour produire la descente de frapper le saumon par le haut. Ces chocs affaiblissent très-facilement les maçonneries ;

3° Le mode de déchargement donne une forte proportion de menu coke ;

4° Le coke du bas des cornues est notablement plus dense que celui des parties supérieures par l'effet de la charge qu'il supporte pendant toute l'opération ;

5° Le principal inconvénient consiste dans la fréquence des réparations, car la suspension du travail dans un four arrête naturellement la marche de tout un massif.

Traitement des diverses espèces de houille. — *Houilles maigres.* — Il est impossible de traiter dans le four Appold des houilles moins que demi-grasses. Malgré le peu de largeur des cornues, la circulation des gaz et leur mélange avec l'air ne se fait pas d'une manière assez régulière et assez parfaite pour assurer l'agglutination initiale dans les fours des extrémités.

On a du reste le tort de ne pas s'occuper assez de régler l'entrée de l'air dans les carneaux ; on le laisse arriver à la fin comme au commencement de l'opération, et il est certain que les gaz étant alors très-peu abondants, il est échauffé en pure perte et abaisse la température.

Houilles grasses. — Les houilles très-grasses ne devront pas non plus être employées. La forte chaleur à laquelle elles sont soumises au moment du chargement aurait pour effet de produire une distillation trop rapide et le coke obtenu serait friable. De plus le gonflement considérable qu'elles éprouvent exerce une action fortement destructive sur les parois, et la facilité avec laquelle le saumon s'attache, augmente les difficultés du défournemeut.

La houille qui donne les meilleurs résultats est la houille à demi ou aux 3/4 grasse : c'est la qualité dont on se sert à Sultzbach ; elle donne un bon rendement. Le défournement est facile et les fours résistent très-bien deux ans et demi ; aussi ajoute-t-on en ce moment aux deux massifs qui existaient déjà deux autres massifs de 18.

Fours Knab. — Les fours Knab se trouvent en deux endroits du bassin de Mons, à Élonges (Société des houilles grasses) et au charbonnage des Produits.

Fours du charbonnage des Produits. — A Élonges, on concasse du gros pour le service des fours, et l'on n'a par conséquent pas besoin de lavage ; la Société des Produits, au contraire, n'emploie qu'un menu, un gailletin très-sale ; il est assez fin pour ne pas nécessiter le broyage. Deux petites machines à vapeur font mouvoir deux norias et le piston d'un appareil Meynier, où se fait le lavage. Tout est exécuté mécaniquement. Le charbon lavé est porté aux fours.

Les fours sont au nombre de 30, en un seul massif. La cuisson y dure 96 heures.

Chargement (*fig.* 7 à 9, Pl. IV). — Sur les rails *r* qui longent le massif dans toute sa longueur circule un appareil qui sert à lever et à abaisser les portes en fonte qui ferment les fours et qu'on lute hermétiquement pendant la cuisson.

Une autre voie comprend entre ses deux rails des trémies s'ouvrant chacune au milieu d'un four : c'est par là que se fait le chargement ; de petits wagons contenant la houille sont poussés au-dessus de la trémie, et on les vide en tirant la plaque mobile qui forme leur fond ; deux hommes placés de chaque côté du four égalisent avec des ringards. La charge est de 75 hectolitres ; elle a $0^m,55$ de hauteur. Si l'on charge un jour les n°s 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, on chargera le lendemain les autres numéros pairs, le surlendemain les huit premiers numéros impairs, et le quatrième jour les sept autres. De cette façon le chargement d'un compartiment se fait toujours au moment où la charge des deux

voisins est à la moitié de sa cuisson, c'est-à-dire possèd son maximum de chaleur.

Déchargement. — Le déchargement se fait par refoulement au moyen d'un cabestan qui roule sur les rails r''.

Le rendement est de 65 à 70 p. 100; la moyenne d'un grand nombre d'opérations au moment de notre visite était de 69,9 p. 100. Les ouvriers font huit fours de 5 heures du matin à 9 heures et demie. Le coke est bon, mais toutes les faces du parallélipède du saumon sont bordées par une couche de grésillon due à la distillation trop rapide des parties échauffées subitement par la sole, les parois ou la chaleur de la voûte. De plus, comme la houille n'a été que très-imparfaitement lavée et qu'elle était fort sale, le coke contient 10 p. 100 de cendres.

Lorsque la charge est sortie, on l'asperge avec de l'eau au moyen de tuyaux en cuir qui débouchent sur huit réservoirs alignés le long du four; après une aspersion rapide, on achève l'extinction en le recouvrant de fraisil.

Sortie des produits volatils. — Un long tuyau C longe tous le massif et recueille les produits volatils de chaque compartiment : arrivé à l'extrémité, il s'enfonce verticalement sous terre et va rejoindre l'extracteur situé dans un bâtiment voisin; les gaz sortent par des ouvertures t reliées au tuyau C par le système A (*fig.* 10, Pl. IV). Si un four est arrêté, il sera facile d'interrompre sa communication avec le tuyau général; en tournant la manivelle m, on fait descendre la pièce p et on établit une fermeture hydraulique.

L'extracteur est l'appareil Polwer, décrit dans la *Chimie industrielle* de Payen.

Marche des gaz. — En sortant du régulateur, les gaz traversent de haut en bas deux grandes tonnes en tôle de 5 mètres de haut sur $1^m,50$ de diamètre remplies de coke; elles y déposent la presque totalité des eaux ammoniacales. Ils s'engagent ensuite dans une longue série de tubes présentant de distance en distance des tuyaux verticaux qui plongent dans des fosses remplies d'eau : là se condensent

le reste des goudrons et des eaux ammoniacales qui se séparent en deux couches.

Ils retournent enfin aux fours, dont ils longent le massif dans le tube T; de ce tube se détache à chaque four un tuyau vertical allant souffler sous la sole. Les gaz passent là sur une grille sur laquelle est allumé de mauvais coke provenant des grésillons. Après avoir chauffé la sole, ils vont dans les parois latérales et perdent en tout dans le trajet les 7/8 de la chaleur qu'ils peuvent donner.

Un conduit souterrain les mène enfin pour chaque moitié à une cheminée située au bout du massif.

Si l'on vient à être obligé d'arrêter les extracteurs, il faudrait ouvrir tous les fours; le voisinage serait empesté. On évite cet inconvénient par une disposition spéciale (*fig.* 11 et 12, Pl. IV) : T est le tube qui emmène les gaz et au bout du massif descend verticalement suivant AR pour se continuer par T'; *t* est le tube qui ramène les gaz sous les soles; τ est un tube établissant la communication entre T' et *t*; *s*, *s'* et *s''* sont des soupapes; généralement *s'* et *s''* sont ouverts et *s* fermé, et les produits volatils font le trajet que nous avons indiqué. Si l'on veut arrêter les extracteurs, on ferme *s'* et *s''* et on ouvre *s*; alors les goudrons et les hydrogènes carbonés sont brûlés ensemble pour chauffer les fours.

Produits. — Les produits volatils de la houille la plus convenable contiennent 5 p. 100 de goudrons et 7 p. 100 d'eaux ammoniacales.

Les eaux ammoniacales sont employées à la fabrication de l'ammoniaque liquide ou des sels ammoniacaux.

Avec les goudrons on fabrique par distillation diverses essences qu'on partage en lourdes et légères.

On les purifie par des lavages à l'acide sulfurique et à la potasse.

Avec les essences légères on fait de la benzine, une belle couleur violette très-solide s'appliquant sans mordants, et diverses essences employées en parfumerie.

THÉORIE

DES MANIVELLES MULTIPLES.

Par M. J.-N. HATON DE LA GOUPILLIÈRE, ingénieur des mines,
Examinateur d'admission à l'École polytechnique.

1. La manivelle est l'un des organes les plus simples, mais en même temps les plus irréguliers de transmission de mouvement. On doit donc se préoccuper des moyens de régulariser son action. Si l'on suppose l'effort de la bielle constant en grandeur et en direction, et qu'on imagine le diamètre parallèle appelé *diamètre des points morts*, on distingue le jeu de l'appareil en simple et double effet, suivant que la traction ne se fait sentir que d'un côté seulement de cette ligne ou d'une manière continue en changeant de sens à chaque point mort. La manivelle à double effet est évidemment la plus régulière, et sous ce rapport doit être préférée.

Un moyen fort simple et très-efficace de régularisation consiste à subdiviser l'effort dont on dispose en plusieurs portions égales que l'on applique à autant de manivelles montées sur le même axe, mais dans des plans méridiens différents et également espacés suivant les rayons d'une étoile régulière. Par là, en effet, les inégalités des différentes transmissions s'entre-mêleront pour produire une marche plus continue.

Les moyens ne manquent pas pour réaliser un tel dispositif. On peut d'abord installer deux manivelles ordinaires aux deux extrémités de l'arbre, et quant aux autres, les remplacer par autant de coudes de l'arbre, ou d'excentriques

circulaires à collier. On peut aussi, suivant un mode qui a été également mis en usage, monter les manivelles sur des arbres différents que l'on relie au principal par des engrenages, en ayant soin d'observer la relation des angles de calage.

Ces appareils sont, en effet, employés dans la pratique. On trouve dans les locomotives les manivelles doubles dont les bras sont calés à angle droit; dans les bateaux à vapeur les manivelles triples ou de 120°. Les manivelles quadruples ou sextuples reviennent d'ailleurs aux précédentes.

Je me propose ici de faire voir que tous les cas peuvent être compris dans une seule théorie, plus simple et plus élégante que la complication du sujet ne semblerait le promettre.

2. Je considère donc une manivelle de m bras également espacés sous l'angle $\frac{2\pi}{m}$. Je suppose le jeu à double effet. Alors le sens des forces change aux points morts à l'instant où leur moment s'annule, de manière que celui-ci ne cesse pas d'être positif.

Remarquons tout d'abord que pour faire le calcul, nous pouvons raisonner comme si tous les bras étaient situés simultanément d'un même côté du diamètre des points morts. En effet, si m est pair, il existe deux bielles aux extrémités de chaque diamètre, et comme elles sont de sens contraire, on en peut supprimer par la pensée la moitié en doublant l'effort des autres. Le moment total ne subira par là aucune altération.

Si m est impair, en retournant toutes les manivelles qui se trouvent d'un même côté des points morts, on les dispose suivant les bissectrices des autres, et rien ne se trouve encore changé par là à l'état des choses, si ce n'est que l'angle des bras adjacents est réduit à moitié.

Nous pourrons donc supposer, dans ce qui va suivre, tous

les bras d'un même côté du diamètre des points morts et désigner alors par n leur nombre effectif qui sera $\frac{m}{2}$ ou m, suivant la parité de m.

On aura par exemple pour les cas les plus simples,

$m = 1$ ou 2	$n = 1$
4	2
5 ou 6	3
8	4
5 ou 10	5

Le mouvement est d'ailleurs essentiellement périodique, et tout le système se retrouvera dans des conditions identiques après une rotation de $\frac{\pi}{n}$, puisque chaque bras se sera alors substitué au précédent. Je pourrai donc supposer que l'angle de rotation θ compté à partir du point mort supérieur ne varie que de zéro à $\frac{\pi}{n}$. Dès lors, aucune manivelle ne franchira le point mort inférieur, et la difficulté du changement de sens des forces se trouvera définitivement écartée.

3. Si nous désignons par r le rayon et F l'effort total transmis, ou par $\frac{F}{n}$ la traction de chaque bielle, le moment de la force de rang k sera

$$\frac{F}{n} \cdot r \sin\left(\theta + k\frac{\pi}{n}\right),$$

et par suite le moment total,

$$M = \frac{Fr}{n} \sum_{0}^{n-1} \sin\left(\theta + k\frac{\pi}{n}\right).$$

Pour évaluer cette somme, posons identiquement

$$\cos\left\{\theta+(2k+1)\frac{\pi}{2n}\right\}-\cos\left\{\theta+(2k-1)\frac{\pi}{2n}\right\}=$$
$$=2\sin\frac{\pi}{2n}\sin\left(\theta+k\frac{\pi}{n}\right).$$

En écrivant cette équation pour toutes les valeurs de k et ajoutant, il vient :

$$2\sin\frac{\pi}{2n}\sum_{0}^{n-1}\sin\left(\theta+k\frac{\pi}{n}\right)=$$
$$=\sum_{0}^{n-1}\cos\left\{\theta+(2k+1)\frac{\pi}{2n}\right\}-\sum_{0}^{n-1}\cos\left\{\theta+(2k-1)\frac{\pi}{2n}\right\}.$$

Mais chacun des termes de l'une des sommes figure avec un signe contraire dans l'autre, de sorte que le second membre se réduit aux termes extrêmes de ces deux sommes, c'est-à-dire à

$$\cos\left\{\theta+(2n-1)\frac{\pi}{2n}\right\}-\cos\left\{\theta-\frac{\pi}{2n}\right\}=$$
$$=2\sin\frac{\pi}{2}\sin\left\{\theta+(n-1)\frac{\pi}{2n}\right\}=$$
$$=2\sin\left\{\theta+\frac{\pi}{2}-\frac{\pi}{2n}\right\}=2\cos\left\{\theta-\frac{\pi}{2n}\right\}.$$

Nous avons donc

$$\sum_{0}^{n-1}\sin\left(\theta+k\frac{\pi}{n}\right)=\frac{\cos\left(\theta-\frac{\pi}{2n}\right)}{\sin\frac{\pi}{2n}}.$$

et enfin

$$(1)\qquad M=\frac{\cos\left(\theta-\frac{\pi}{2n}\right)}{n\sin\frac{\pi}{2n}}Fr.$$

4. Cherchons d'abord la limite M_∞ vers laquelle tend le

moment total lorsque le nombre des bras s'accroît indéfiniment.

Comme la formule précédente peut s'écrire

$$M = \frac{2}{\pi} Fr \frac{\cos\left(\theta - \frac{\pi}{2n}\right)}{\left(\frac{\sin \frac{\pi}{2n}}{\frac{\pi}{2n}}\right)},$$

on reconnaît que le dénominateur tend alors vers l'unité et le numérateur vers $\cos \theta$. Mais θ reste compris entre o et $\frac{\pi}{n}$, qui tend lui-même vers zéro. Le numérateur se réduit donc aussi à l'unité, et il vient

$$(2) \qquad M_\infty = \frac{2}{\pi} Fr,$$

ou en effectuant

$$M_\infty = 0{,}6366190\ldots . \; Fr.$$

Cette valeur correspond, dans un système quelconque à l'angle θ_0 déterminé par la formule

$$\frac{\cos\left(\theta_0 - \frac{\pi}{2n}\right)}{n \sin \frac{\pi}{2n}} = \frac{2}{\pi},$$

d'où les deux inclinaisons

$$(3) \qquad \begin{cases} \theta'_0 = \dfrac{\pi}{2n} - \arccos\left(\dfrac{\sin \frac{\pi}{2n}}{\frac{\pi}{2n}}\right) \\[2ex] \theta''_0 = \dfrac{\pi}{2n} + \arccos\left(\dfrac{\sin \frac{\pi}{2n}}{\frac{\pi}{2n}}\right) \end{cases}$$

évidemment symétriques par rapport à la bissectrice de l'angle $\frac{\pi}{n}$ de la période.

On a, par exemple :

$n=1$	$\theta'_0 = 39°$	32′	25″	$\theta''_0 = 140°$	27′	35″
2	19°	12′	0″	70°	48′	0″
3	14°	36′	56″	45°	23′	4″
4	9°	31′	55″	35°	28′	5″
5	7°	37′	10″	28°	22′	50″

5. Je désignerai en second lieu par M_0 la valeur moyenne du moment total. Remarquons tout d'abord qu'elle doit être indépendante de n. En effet, après une révolution entière, comme chaque bielle est revenue à sa position initiale, on a obtenu le même travail que si toutes étaient parties du point mort, ne formant qu'une seule bielle d'effort F. Donc le travail total est indépendant de n ; mais il est le produit du moment moyen par 2π; il en est donc de même de M_0.

Il suffit dès lors d'évaluer M_0 pour un cas particulier, par exemple pour $n = \infty$. Cela devient ainsi bien facile, car le moment total est alors constant et égal, par cela même, à sa valeur moyenne. On a donc

$$M_0 = M_\infty = \frac{2}{\pi} Fr, \tag{4}$$

résultat que fournirait également l'intégration directe.

L'angle θ_0 qui vient d'être calculé (3) fait donc connaître les positions pour lesquelles le moment total atteint sa valeur moyenne.

6. Désignons enfin par M_1 et M_2 le minimum et le maximum du moment total, et par θ_1, θ_2 les positions correspondantes.

Le minimum de M (1) correspond au plus petit cosinus

ou au plus grand arc $\frac{\pi}{2n} - \theta$, c'est-à-dire à la plus petite valeur de θ

$$\theta_1 = 0, \tag{5}$$

qui indique le point mort. Il vient alors

$$M_1 = \frac{Fr}{n} \cot \frac{\pi}{2n},$$

On a, par exemple:

$n = 1$	$\frac{1}{n} \cot \frac{\pi}{2n} = 0,00000$
2	0,50000
3	0,57735
4	0,59862
5	0,61554

Le maximum correspond au plus grand cosinus ou au plus petit arc en valeur absolue, c'est-à-dire zéro, si zéro est compris dans les limites. On l'obtient en effet pour l'angle

$$\theta_2 = \frac{\pi}{2n},$$

qui indique la bissectrice de l'angle de la période. Il vient alors

$$M_2 = \frac{Fr}{n} \operatorname{coséc} \frac{\pi}{2n}.$$

On a, par exemple :

$n = 1$	$\frac{1}{n} \operatorname{coséc} \frac{\pi}{2n} = 1,00000$
2	0,70710
3	0,66666
4	0,64873
5	0,64721

Le rapport du minimum au maximum, qui caractérise le degré de régularité de l'appareil sera, d'après cela,

$$\frac{M_1}{M_2} = \cos\frac{\pi}{2n}.$$

On a, par exemple :

$n = 1$	$\frac{M_1}{M_2} = 0{,}00000$
2	0,70710
3	0,86602
4	0,92388
5	0,95106

On reconnaît par là que la régularisation est déjà très-satisfaisante avec les manivelles triples.

7. Le minimum peut être mis sous la forme

$$M_1 = \frac{\frac{\pi}{2n}}{\operatorname{tang}\frac{\pi}{2n}} M_0.$$

Or l'arc est moindre que sa tangente, et ils tendent ensemble vers zéro. On aura donc pour

$n = 1$ minimum minimorum $= 0$

$n = \infty$ maximum minimorum $= M_0 = \frac{2}{\pi} Fr.$

Le maximum peut de même être mis sous la forme

$$M_2 = \frac{\frac{\pi}{2n}}{\sin\frac{\pi}{2n}} M_0.$$

Or l'arc est plus grand que son sinus, et ils tendent ensemble vers zéro. On aura donc pour

$n = 1$ maximum maximorum $= Fr$

$n = \infty$ minimum maximorum $= M_0 = \frac{2}{\pi} Fr.$

8. Pour régulariser encore davantage le mouvement sans exagérer le nombre des bras, on a comme à l'ordinaire la ressource du volant, mais on pourra naturellement en employer un moins considérable qu'avec la manivelle simple. Cherchons le moment d'inertie μ du volant qui est capable de régulariser le mouvement à un degré donné $\frac{1}{\rho}$.

Commençons pour cela par reconnaître à quels instants la vitesse atteint son maximum et son minimum. C'est évidemment lorsque le moment moteur M cesse d'être supérieur à celui de la résistance pour lui devenir inférieur ou réciproquement. Or le moment de la résistance, que nous supposons constant, est précisément égal à la valeur moyenne M_0 du moment moteur, sans quoi le mouvement, au lieu d'être périodique, s'accélérerait ou se ralentirait indéfiniment. On voit par là que la vitesse atteint ses limites extrêmes lorsque le moment moteur passe par sa valeur moyenne, c'est-à-dire pour les positions déterminées par les angles θ_0' et θ_0'' (3).

Le minimum ω' de la vitesse correspond à la première et le maximum ω'' à la seconde. En effet, le minimum M_1 du moment moteur a lieu pour $\theta_1 = 0$ avant la position θ_0', et le maximum M_2 pour $\theta_2 = \frac{\pi}{2n}$ après θ_0' et avant θ_0''; de sorte que θ_0' termine une phase de ralentissement et θ_0'' une phase d'accélération.

9. J'admettrai, comme on le fait ordinairement dans les calculs de ce genre, que la vitesse moyenne Ω, déduite du nombre de tours, ne diffère pas de la moyenne arithmétique entre les vitesses extrêmes

$$\Omega = \frac{\omega' + \omega''}{2}.$$

Nous voulons de plus régulariser à $\frac{1}{\rho}$ près, c'est-à-dire de

manière que la variation totale de la vitesse ne soit qu'une fraction $\frac{1}{\rho}$ de sa valeur moyenne

$$\omega'' - \omega' = \frac{\Omega}{\rho}.$$

On déduit de là

$$\frac{\omega''^2 - \omega'^2}{2} = \frac{\Omega^2}{\rho}.$$

10. Posons actuellement l'équation des forces vives entre les deux positions θ_0' et θ_0''. Comme la force vive d'un corps tournant est le produit du quarré de sa vitesse angulaire par son moment d'inertie, la demi-variation de la force vive du volant sera $\frac{1}{2}(\omega''^2 - \omega'^2)\mu$ ou $\frac{\mu\Omega^2}{\rho}$. Si nous faisons abstraction de la force vive du reste des mécanismes, peu considérable du reste en comparaison, l'équation fournira pour μ une valeur un peu trop grande que nous pourrons par suite accepter à coup sûr.

Le travail de la résistance sera le produit de son moment constant M_0 par le déplacement angulaire $\theta_0'' - \theta_0'$ ou

$$2M_0 \text{ arc cos}\left(\frac{\sin\frac{\pi}{2n}}{\frac{\pi}{2n}}\right).$$

Le travail élémentaire de la puissance est de même $Md\theta$, et par suite son travail total

$$\int_{\theta'_0}^{\theta_0''} Md\theta = \frac{Fr}{n\sin\frac{\pi}{2n}}\int_{\theta'_0}^{\theta_0''}\cos\left(\theta - \frac{\pi}{2n}\right) d\left(\theta - \frac{\pi}{2n}\right) =$$

$$= \frac{Fr}{n\sin\frac{\pi}{2n}}\left\{\sin\left(\theta_0'' - \frac{\pi}{2n}\right) - \sin\left(\theta_0' - \frac{\pi}{2n}\right)\right\} =$$

$$= \frac{2Fr}{n\sin\frac{\pi}{2n}}\sin\frac{\theta_0'' - \theta'_0}{2}\cos\left(\frac{\theta_0'' + \theta'_0}{2} - \frac{\pi}{2n}\right)$$

c'est-à-dire d'après les valeurs (3) de θ''_0 et θ_0',

$$\frac{2\,Fr}{n\sin\frac{\pi}{2n}}\sin\left\{\arc\cos\left(\frac{\sin\frac{\pi}{2n}}{\frac{\pi}{2n}}\right)\right\}$$

$$=\frac{2Fr}{n\sin\frac{\pi}{2n}}\sqrt{1-\left(\frac{\sin\frac{\pi}{2n}}{\frac{\pi}{2n}}\right)^2}=$$

$$=\frac{4}{\pi}Fr\sqrt{\left(\frac{\frac{\pi}{2n}}{\sin\frac{\pi}{2n}}\right)^2-1}=$$

$$=2M_0\sqrt{\left(\frac{\frac{\pi}{2n}}{\sin\frac{\pi}{2n}}\right)^2-1}$$

L'équation des forces vives sera d'après cela :

$$\frac{\mu\Omega^2}{\rho}=2M_0\sqrt{\left(\frac{\frac{\pi}{2n}}{\sin\frac{\pi}{2n}}\right)^2-1}-2M_0\arc\cos\left(\frac{\sin\frac{\pi}{2n}}{\frac{\pi}{2n}}\right).$$

On en déduit

$$\mu=\frac{2\rho M_0}{\Omega^2}\left\{\sqrt{\left(\frac{\frac{\pi}{2n}}{\sin\frac{\pi}{2n}}\right)^2-1}-\arc\cos\left(\frac{\sin\frac{\pi}{2n}}{\frac{\pi}{2n}}\right)\right\}.$$

Telle est la formule qui résout la question.

11. On peut, pour en faciliter l'application, substituer aux quantités qui y figurent d'autres éléments plus pratiques.

Soient P le poids et R le rayon moyen du volant, que l'on peut considérer comme son rayon de gyration, on aura

$$\mu=\frac{PR^2}{g},$$

Soit t le nombre de tours par minute

$$\Omega=\frac{2\pi\,.\,t}{60}=\frac{\pi t}{30}.$$

Soit φ la force en chevaux, on aura, en égalant les deux expressions du travail moteur ou résistant pendant un tour,

$$2\pi \cdot M_0 = \frac{75 \cdot \varphi}{\frac{1}{60} t}$$

$$M_0 = \frac{2250}{\pi} \cdot \frac{\varphi}{t}.$$

En opérant ces substitutions dans l'équation précédente, elle devient

$$PR^2 = K \cdot \frac{\rho\varphi}{t^3}.$$

Si nous désignons, pour abréger, par K le coefficient suivant, essentiellement numérique,

$$K = 4050000 \cdot \frac{g}{\pi^3} \left\{ \sqrt{\left(\frac{\frac{\pi}{2n}}{\sin\frac{\pi}{2n}}\right)^2 - 1} - \text{arc cos}\left(\frac{\sin\frac{\pi}{2n}}{\frac{\pi}{2n}}\right) \right\}$$

$$= 1281213 \left\{ \sqrt{\left(\frac{\frac{\pi}{2n}}{\sin\frac{\pi}{2n}}\right)^2 - 1} - \text{arc cos}\left(\frac{\sin\frac{\pi}{2n}}{\frac{\pi}{2n}}\right) \right\}.$$

on aura par exemple :

$n = 1$	$K = 423662$
2	42446
3	8387
4	5057
5	2587

On reconnaît encore que la manivelle triple apporte déjà une réduction décisive dans l'importance du volant, qui n'est plus que d'environ un cinquantième de celui de la manivelle simple ou un cinquième de celui de la manivelle double.

RAPPORT

SUR LE SYSTÈME DE LOCOMOTIVE ARTICULÉE ET A DOUZE ROUES COUPLÉES, PROPOSÉ PAR M. L. RARCHAERT.

Adressé à S. Exc. le Ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics,

PAR UNE COMMISSION COMPOSÉE DE :

MM. AVRIL, inspecteur général des ponts et chaussées, *président;*
MARY et **BUSCHE**, inspecteurs généraux des ponts et chaussées;
et **COUCHE**, ingénieur en chef, professeur à l'École des mines, *rapporteur.*

Sur les voies ferrées, l'alignement droit est la règle, la courbe est l'exception. Avec des courbes fréquentes et de petit rayon, la grande vitesse est impossible, quelles que soient les combinaisons mécaniques; et la sécurité est, quoi qu'on fasse, moins complète qu'en ligne droite, parce que des signaux, si perfectionnés qu'ils soient, ne peuvent remplacer l'œil du mécanicien lui-même, embrassant un long développement de voie.

Mais, en pareille matière, il n'y a pas de principe qui ne doive fléchir parce que, pour les chemins de fer, il ne s'agit pas de perfection théorique, il s'agit d'être possible.

L'alignement droit, avec raccordements à grands rayons à peu près équivalents à la ligne droite, reste et restera certainement toujours l'élément normal du tracé des lignes à grand trafic, dans les contrées peu accidentées. Mais, pour relier ensemble ces lignes privilégiées, séparées par des chaînes de montagnes, pour desservir les régions que la nature semble avoir condamnées à l'isolement, pour aller atteindre dans les montagnes les gîtes minéraux qu'elles recèlent, le tracé normal devient impraticable. Il faut tantôt suivre les sinuosités des vallées à flancs escarpés, sous peine de se jeter dans des dépenses hors de proportion avec le

produit de la voie projetée, tantôt se développer en rampe sur les accidents du relief pour répartir sur une longueur suffisante la différence de niveau parfois très-considérable de points très-rapprochés en ligne droite.

La faculté d'ascension des chemins de fer à locomotives a largement dépassé tout ce qu'on aurait osé espérer il y a quinze ou vingt ans. Des rampes de 30, 35, 40 millièmes, et même au delà (*), sont aujourd'hui exploitées régulièrement. Cette faculté peut permettre, dans certains cas, d'éviter un développement excessif et de brusques inflexions. Elle a été mise largement à profit, par exemple au passage de l'Apennin, entre Turin et Gênes, où l'inclinaison atteint 35 millièmes, tandis que le rayon ne s'abaisse pas au-dessous de 400 mètres. Mais ailleurs, comme au Semmering, les deux éléments, la pente et la courbe, ont dû concourir dans une proportion moins inégale à la solution du problème; et tandis que les inclinaisons ne dépassent pas 0,025, les rayons descendent à 190 mètres (**). Sur la ligne d'Oravicza à Steierdorf, que la société des chemins de fer autrichiens vient de construire pour desservir ses houillères du Banat, c'est la roideur des courbes qui est poussée à un point tout à fait inusité (60 klafter = 114 mètres), tandis que les inclinaisons sont, relativement, modérées (0,02). En somme, les ingénieurs s'accordent à reconnaître aujourd'hui que dans beaucoup de circonstances les chemins de fer devront admettre des rayons de 250 à 200 mètres et même moins sous peine d'être impossibles, non pas d'une manière absolue, mais économiquement parlant.

Lorsqu'il s'agit des vallées sinueuses dont nous parlions tout à l'heure, l'économie réalisée par un abaissement des rayons minima, de 300 à 200 mètres, peut atteindre parfois un chiffre tel, que la solution du problème de la trac-

(*) Voir la note à la suite du rapport.

(**) Ces deux limites ne sont d'ailleurs jamais atteintes simultanément.

tion dans de telles courbes peut être regardée comme une condition *sine qua non* pour l'exécution de certaines lignes réclamées cependant par des intérêts très-graves; car dès aujourd'hui une contrée sans chemin de fer est une contrée deshéritée.

Sans doute, quoi qu'on fasse, des courbes très-roides constitueront toujours une lourde charge pour l'exploitation. On exagérerait toutefois cette influence, si l'on voulait l'apprécier d'après celle qu'exercent sur les grandes lignes à faibles pentes des courbes de rayons beaucoup moins restreints. Si, par exemple, une courbe de 400 mètres de rayon sur niveau suffit pour opposer un obstacle sérieux à la remorque d'un long train, entièrement engagé dans cette courbe, il n'en faudrait nullement conclure qu'une courbe de 250 ou 200 mètres créera nécessairement des difficultés beaucoup plus graves sur un chemin de montagne. Ici, en effet, l'inclinaison des rampes limitera beaucoup, à puissance égale du moteur, le nombre des véhicules composant un train. Or la résistance d'une courbe agit, toutes choses égales d'ailleurs, proportionnellement au nombre des essieux qui y sont engagés.

On sait d'ailleurs que l'appropriation du matériel mobile à la circulation en courbes de petits rayons présente des difficultés très-différentes pour les deux éléments de ce matériel, wagons et machines. A vrai dire même, le problème n'existe guère que pour celles-ci. Pour les wagons, un léger jeu parallèlement à la voie des boîtes à graisse dans les plaques de garde, jeu qui ne présente aucun inconvénient d'ailleurs, suffit pour assurer l'inscription des mentonnets entre les rails, en acceptant, bien entendu, un surcroît de résistance inévitable, surtout au passage de la tangente à la courbe et réciproquement. Pour les machines, ce jeu (combiné avec un jeu transversal quand elles ont plus de deux essieux) suffit aussi, mais il n'est praticable que quand ces essieux ne sont pas liés par des bielles d'accouplement. Or

sur les chemins à fortes rampes, ce qu'on demande au moteur, ce n'est pas une grande vitesse, mais un grand effort de traction pour faire équilibre aux résistances dont la gravité forme alors l'élément essentiel. L'adhérence étant, jusqu'à présent, l'intermédiaire nécessaire de l'effort de traction, et l'expérience prouvant que, à faible vitesse, les machines ont souvent, si ce n'est toujours, besoin de l'adhérence due à la totalité de leur poids pour utiliser leur puissance dynamique, on se trouve en présence de ce problème : *Construire des machines puissantes, de* 130, 150 *mètres quarrés de surface de chauffe, et au delà, utilisant l'adhérence due à la totalité de leur poids, et assez flexibles pour franchir des courbes de* 250 *mètres et même au-dessous.*

Ce problème, quelques personnes l'ont cru résolu il y a près de dix ans, par la machine de M. Engerth. On sait aujourd'hui à quoi s'en tenir. Cette disposition si prônée d'abord est aujourd'hui abandonnée *pour les machines à petite vitesse.* Non-seulement on ne fait plus de machines de ce système, mais même sur la plupart des chemins qui les avaient adoptées, sur le Semmering lui-même, leur berceau, on les a transformées récemment, comme on l'a fait sur le chemin de fer de l'Est dès l'année 1859, en machines ordinaires convenablement lestées et à tender séparé.

L'échec du dispositif, emprunté par M. Engerth au constructeur américain Norris (l'engrenage), est trop connu pour que nous insistions sur ce point.

Cet échec a été le point de départ des recherches de M. Rarchaert ; il s'est proposé de résoudre le problème dont M. Engerth avait poursuivi vainement la solution.

On sait que dans la locomotive de l'habile ingénieur allemand, le châssis de la machine proprement dite et celui du tender, installés chacun sur trois essieux parallèles, sont réunis par une cheville ouvrière qui permet aux deux groupes d'essieux de former des angles variables; la boîte à feu, encadrée avec un jeu suffisant par les longerons exté-

rieurs du tender, repose sur eux par l'intermédiaire de glissières à portées sphériques. Comme M. Engerth, M. Rarchaert relie par une articulation deux groupes de trois essieux rigides. Mais le trait caractéristique de son système réside dans l'artifice qu'il a imaginé pour transmettre le mouvement de rotation du premier groupe auquel appartient l'essieu moteur, au deuxième groupe, sans altérer la liberté des déplacements relatifs de ces deux systèmes.

L'accouplement, au moyen de bielles, est jusqu'ici le seul moyen pratique de transmettre le mouvement de rotation d'un essieu à un autre. C'est encore à cet expédient que recourt M. Rarchaert, mais en le modifiant. Entre le dernier essieu du premier groupe et le premier du second groupe, il intercale de chaque côté de l'appareil un levier à bras égaux, oscillant dans un plan vertical, et articulé à chaque extrémité, avec une bielle qui reçoit le manneton de la roue correspondante.

Quand la machine marche en ligne droite, les positions moyennes autour desquelles oscillent les balanciers sont verticales. Quand le système est en courbe, ces deux positions moyennes s'inclinent en sens contraires, et rachètent, par la somme des déplacements horizontaux de leurs extrémités, la différence des distances des essieux, mesurées sur l'arc extérieur et sur l'arc intérieur. Il est d'ailleurs évident que la demi-longueur des leviers doit dépasser notablement celle de la manivelle, l'excès devant être assez grand pour que l'amplitude totale de l'oscillation correspondante à un demi-tour de roue ne soit pas exagérée.

(*) Il n'est pas inutile de signaler en passant un avantage inhérent à l'emploi des balanciers : les manivelles qu'ils relient étant nécessairement calées à 180°, le centre de gravité du système formé par un balancier et les manivelles et bielles correspondantes, n'a pas de mouvement relatif; de sorte que la machine, malgré la position extérieure de ses cylindres et l'accouplement de toutes ses roues, n'exigerait que l'application de contre-poids relativement très-légers.

Tel est le principe. Il a été proposé par d'autres personnes, par MM. Larpant et Gouin entre autres. La commission n'a pas à s'occuper de la question de priorité. Elle doit dire seulement que l'idée du balancier oscillant a été présentée à un de ses membres par M. Rarchaert, dès l'année 1855. Si d'ailleurs l'idée fondamentale est commune aux trois solutions, celle de M. Rarchaert se distingue par des détails ingénieux qui lui appartiennent sans contestation.

L'exposé présenté par l'inventeur (*) nous dispense de reproduire dans ce rapport la description du mécanisme. Il paraît cependant nécessaire d'insister ici sur quelques points essentiels pour l'intelligence de ses fonctions.

L'arbre horizontal MN (Pl. V, *fig.* 1), qui porte les balanciers, a pour chaque figure du système une position rigoureusement déterminée. Il doit, en effet, passer par le point de concours des essieux extrêmes *ab*, *cd*, et partager constamment leur angle en deux parties égales. A cet effet, il peut osciller horizontalement autour de la cheville ouvrière I qui relie les deux trains; et les deux supports $\alpha\ \alpha'$, $\beta\ \beta'$, solidaires avec lui, se prêtent à ces mouvements, par suite du jeu de leurs portées sur les essieux *ab*, *cd*, sur lesquels il s'appuient (*fig.* 1).

Mais pour que l'arbre MN, dont le milieu seul est et peut être fixe, offre aux leviers oscillants, qui emboîtent ses extrémités, le point d'appui nécessaire à la transmission de l'effort d'une bielle *t* à l'autre *t'* (*fig.* 2), il faut évidemment que cet arbre soit constamment maintenu en équilibre autour de son milieu par la symétrie des forces appliquées à ses deux extrémités. Chacune de celles-ci doit, en effet, dans chaque état du système correspondant à un rayon de courbure déterminé, se comporter comme un point fixe: condition qui ne peut être réalisée que par la symétrie des forces qui sollicitent ces deux points.

(*) Voir son mémoire à la suite de ce rapport.

De là la nécessité de caler, sur le dernier essieu du premier groupe, et sur le premier essieu du second, les manivelles de droite et de gauche parallèlement (*fig.* 3) au lieu de les caler à 90°, comme cela se fait ordinairement. La condition de symétrie des efforts sur l'axe MN est alors remplie, mais au prix d'une conséquence inadmissible, l'apparition des *points morts*.

Pour y échapper, M. Rarchaert double tout le système de connexion des deux essieux extrêmes : manivelles, bielles, leviers oscillants, en plaçant, cela va sans dire, le second système de manivelle à angle droit sur le premier. Il faut pour cela prolonger les mannetons par un double coude, disposition semblable à celle qui a été appliquée déjà (mais seulement pour la distribution, c'est-à-dire pour la transmission d'efforts beaucoup moindres), par exemple dans les machines Crampton.

Les pièces ajoutées en vue des points morts à franchir sont indiquées par le tracé pointillé sur la *fig.* 3, dans laquelle le premier système des manivelles est supposé horizontal, et par suite le second vertical, ses axes se projetant dès lors sur ceux des essieux.

M. Rarchaert a fort bien vu, d'ailleurs, que si le double système de connexion est nécessaire entre les deux essieux extrêmes, on peut parfaitement se dispenser de l'étendre aux autres essieux constituant chacun des groupes. Pour ceux-ci, des manivelles simples, calées à droite et à gauche, à 90° l'une de l'autre, suffisent, à condition d'opérer convenablement la liaison entre les doubles manivelles du premier essieu et les manivelles simples du second. Tout l'artifice consiste à placer la bielle d'accouplement, d'un côté sur la manivelle appartenant à un système, et de l'autre sur la manivelle appartenant au système rectangulaire.

La *fig.* 4 représente (tracé pointillé) cette disposition qui n'entraîne, comme on le voit, qu'une conséquence sans aucune gravité d'ailleurs : c'est que les manivelles N, N'

se meuvent dans des plans verticaux qui ne sont pas exactement à la même distance de l'axe longitudinal de la machine.

En somme, M. Rarchaert a résolu le problème qu'il s'était proposé. Mais cette solution, bonne géométriquement, quelle est sa valeur en pratique ? c'est ce qu'il importe d'examiner.

L'auteur a pris la question telle quelle était posée, il y a quelques années, par des hommes du métier. M. Maffeï, M. Engerth et d'autres avaient tenté, sans y réussir, de réaliser l'accouplement de douze roues formant deux groupes articulés. Ce résultat était regardé alors par plusieurs ingénieurs comme un *desideratum* fort important. Il était tout simple que M. Rarchaert acceptât le problème dans les termes où il était posé par des praticiens. Si ces termes sont défectueux, c'est leur faute et non la sienne.

De quoi s'agissait-il en définitive ? d'imprimer à un grand nombre de roues, douze par exemple, un mouvement de rotation commun. Or l'égalité des mouvements de rotation, jointe à celle des mouvements de translation, entraîne comme conséquence nécessaire la rigoureuse égalité des diamètres. Rien de plus facile que d'obtenir cette égalité dans une machine sortant de l'atelier. Le tour est un véritable instrument de précision qui réalise cette égalité parfaite. Mais l'inégalité des charges sur les bandages, le défaut d'homogénéité du métal, ne tardent pas à altérer cette égalité des diamètres ; de là des glissements qui aggravent le mal d'autant plus rapidement, que l'inégalité des diamètres est à la fois la cause et l'effet des glissements.

Dès lors, la machine emploierait une grande partie de sa force à *limer* pour ainsi dire les rails, si l'on n'y mettait ordre en plaçant fréquemment les roues sur le tour, et cela d'autant plus souvent que l'usure anormale d'un seul bandage exige qu'on tourne aussi les onze autres, fussent-ils parfaitement intacts. De là un surcroît de dépenses d'en-

tretien, et de plus des chômages fréquents qui se traduisent en un accroissement du *capital-machines*.

Il y a un moyen simple, tout à fait insuffisant quant aux évaluations numériques, mais concluant quant aux conséquences générales, de comparer les résistances propres au mouvement des machines : c'est de comparer leur consommation de charbon quand elles se remorquent elles-mêmes sans charge. Les observations de ce genre faites sur le chemin de fer de Paris à Lyon ont mis en évidence l'influence aggravante de l'accouplement. Il ne s'agissait cependant que de machines à six roues. Or il est évident que cette influence croît bien plus rapidement que le nombre des roues couplées ; et si ce nombre s'élevait à douze, cette influence prendrait des proportions excessives ; il n'est guère permis de douter qu'alors une fraction considérable de la puissance de la machine serait absorbée par les frottements dus à l'accouplement.

Plusieurs ingénieurs ont, pendant longtemps, taxé cette opinion de chimère : elle a un côté faible, sans doute, comme toutes celles qui ne s'appuient pas sur des évaluations positives, sur des chiffres. Aujourd'hui cependant elle gagne du terrain, et les ingénieurs d'une de nos grandes lignes ont certainement considéré les résistances inhérentes à la rotation solidaire de douze roues comme un argument en faveur de la division du mécanisme moteur en deux systèmes indépendants; division qu'ils ont adoptée pour leur nouveau type de fortes machine à petite vitesse, et par suite à adhérence totale, et portée sur douze roues (*).

Cette division est assurément fort sage ; et sans nous arrêter à discuter, ce qui n'est pas la question, la valeur relative d'une machine unique de 250 mètres quarrés de sur-

(*) Elle vient de l'être également dans un projet de *locomotive universelle*, étudiée avec une intelligence et un sens pratique remarquable, par MM. J. J. Meyer et son fils. Cette machine sera l'objet d'un rapport spécial.

face de chauffe, par exemple, et de deux machines de 125 mètres quarrés chacune (*), nous sommes convaincus que si l'on donne, à tort ou à raison, la préférence à la machine unique, l'unité ne doit pas du moins aller jusqu'à la solidarité de l'accouplement des douze roues, et que la division en deux groupes indépendants est tout à fait nécessaire. Qu'on aille, à la rigueur, jusqu'à huit roues; mais c'est assez, bien assez.

Nous ne pensons pas cependant que le principe de la solution trouvée par M. Rarchaert doive être repoussé d'une manière absolue; mais il ne nous paraît pas susceptible d'une application avantageuse aux machines assez puissantes, et par suite assez lourdes, pour qu'il soit à propos de répartir leur poids sur un aussi grand nombre de roues, c'est-à-dire aux machines destinées aux lignes à grand trafic.

Ce principe pourrait peut-être, selon nous, être utilisé sur certaines lignes secondaires dont le tracé devrait admettre à la fois de fortes pentes et des courbes *très-*

(*) On fait valoir, en faveur de la machine unique, la réduction du personnel (un mécanicien et deux chauffeurs suffisant alors) et la moindre consommation de combustible. Mais on ne tient pas compte d'un élément bien plus important, la réduction du *capital-machines* dans le cas de deux moteurs distincts, dont l'un continue son service tandis que l'autre entre en réparation.

Quand il s'agit de remorquer, non des trains très-lourds sur des chemins à faibles pentes, mais des trains légers sur des lignes à inclinaisons très-fortes, la substitution de deux machines à un moteur unique devient presque une nécessité. Il y a sur de telles lignes un danger tout spécial : les ruptures d'attelages à la remonte, et la marche en dérive de la portion de train séparée de la tête; le moyen radical de conjurer ce danger, c'est de répartir le moteur entre la tête et la queue du train. Cette pratique serait tout à fait inadmissible, sans doute, avec une vitesse un peu grande; elle n'aurait d'ailleurs alors aucune raison d'être, puisqu'on ne marche vite que sur les parties à profil peu accidenté. Lorsque l'inclinaison est forte, et par suite la vitesse nécessairement faible, elle constitue une garantie précieuse, sans entraîner aucun inconvénient; elle est au surplus consacrée par l'expérience sur les lignes de l'Est, de Lyon, sur le chemin de Ponte-Decimo à Busalla, etc.

roides, et dont le trafic peu actif s'opérerait par petits trains n'exigeant que des machines à huit roues. Dans ces limites l'inconvénient de la solidarité des roues perd déjà beaucoup de sa gravité, et la flexibilité du moteur pourrait permettre d'abaisser la limite des rayons de courbes plus bas qu'avec les machines ordinaires à deux cylindres.

Ajoutons cependant que, tout en reconnaissant les avantage de la faculté de convergence des deux groupes d'essieux, il ne faut pas les exagérer. M. Beugniot a prouvé que le parallélisme n'oppose à la circulation en courbe qu'un obstacle très-faible, pourvu que les essieux possèdent *tous* un jeu transversal suffisant, mais aussi convenablement réglé. Dans les essais faits sous les yeux d'un des membres de la commission, la machine *l'Apennin*, à huit roues couplées et a empatement de 4 mètres, a franchi avec une grande facilité, sans le moindre grippement, la courbe de 80 mètres de rayon, qui termine dans l'usine de Saint-Gobain la ligne qui relie cet établissement à la station de Chauny sur le chemin de fer du Nord (*).

(*) On sait que dans la machine de M. Beugniot, chacun des quatre essieux a un jeu total transversalement à la voie de 5 centimètres. Comme ils ne pourraient (surtout l'essieu antérieur) flotter impunément en toute liberté sous la machine, qui contracterait un mouvement de lacet excessif, le premier essieu et le second, ainsi que le troisième et le quatrième, sont reliés par un balancier oscillant autour d'un axe fixé à la chaudière, qui ne permet pas à l'un des essieux de se déplacer transversalement à la machine, sans que son conjugué se déplace en sens inverse de la même quantité. En courbe, les deux déplacements concourent pour permettre l'inscription des mentonnets entre les rails. En alignement droit, les deux tendances opposées se détruisent sensiblement.

On a reproché au système Beugniot une complication inutile ; on obtiendrait, a-t-on dit, le même résultat en rendant les essieux extrêmes complétement fixes et donnant seulement aux deux essieux intermédiaires le jeu nécessaire pour racheter la flèche correspondante au rayon minimum : les balanciers seraient dès lors supprimés.

Cette opinion ne nous semble nullement fondée. La mobilité du

Mais en semblable matière, le succès plus ou moins complet d'un système ne saurait impliquer la condamnation *a priori* de ceux qui sont fondés sur d'autres principes. Sans doute, indépendamment de l'objection sur laquelle nous avons insisté, le système de M. Rarchaert en soulève d'autres. Comment se comporteraient ces longs balanciers maintenus seulement en leur milieu? Ces balanciers et les bielles articulées avec eux ne *fouetteront-ils* pas violemment dans la marche, etc? A ces questions, l'expérience seule pourrait répondre. Tout ce qu'on peut dire, c'est que le système Rarchaert est ingénieux, bien étudié, qu'il n'est entaché d'aucun de ces vices organiques qui sautent aux yeux, qui permettent de repousser un système sans l'avoir essayé, qu'il est très-supérieur à d'autres, condamnés avec évidence par le seul raisonnement. Mais s'il est vraiment bon en pratique, c'est ce que la pratique seule pourrait dire.

D'autres solutions, avec beaucoup moins de titres assurément, ont obtenu une expérience en grand; présent précieux pour les choses sérieuses qu'elle consacre, funeste pour les inventions sans valeur, dont les auteurs perdent une à une leurs illusions, avec leur temps et leurs ressources.

---

premier essieu, de l'essieu directeur, a au contraire, selon nous, une très-grande influence sur l'allure de la machine, principalement à l'entrée des courbes. Si l'essieu est solidaire avec le châssis, il faut que toute la machine change brusquement de direction; les impulsions du rail sur le boudin de la roue extérieure doivent, dès lors, avoir une intensité très-considérable. Si, au contraire, l'essieu directeur peut exécuter son mouvement centripète sans avoir besoin d'y entraîner momentanément toute la masse de la machine, celle-ci prend peu à peu, à loisir pour ainsi dire, la direction convenable, sans choc et avec des frottements beaucoup moindres. La douceur d'allure remarquable de la machine *l'Apennin*, lors de l'entrée en courbe, s'explique donc facilement. Les dispositions de cette machine atteignent d'ailleurs le but tout aussi bien que celles appliquées par M Beugniot à ses deux devancières, la *Rampe* et la *Courbe* (dont le principe était emprunté à un type du constructeur américain Baldwin); et elles sont beaucoup plus simples.

La crainte de faire un essai infructueux, le souvenir d'autres dont il eût mieux valu peut-être s'abstenir, ne doivent pas faire repousser les inventions qui se présentent avec des chances de succès suffisantes. On répète souvent que les inventions sérieuses font leur chemin d'elles-mêmes, sans que l'État ait besoin d'intervenir. Il devrait en être ainsi, mais jusqu'à présent cela n'est pas. Si le prétendu *martyrologe* des inventeurs n'est qu'un lieu commun propagé par la médiocrité jalouse, il faut bien reconnaître cependant qu'il ne suffit pas toujours à une idée d'être bonne et pratique pour être acceptée. Si l'essai est facile, peu dispendieux, cela va de soi; mais s'il doit entraîner des dépenses notables, s'il exige le concours des détenteurs de certains éléments indispensables, les obstacles deviennent très-sérieux, si ce n'est même infranchissables. Sans remonter dans l'histoire connue de quelques grandes inventions, il nous serait facile de citer certains perfectionnements d'une valeur réelle, acceptés aujourd'hui grâce au concours de l'administration supérieure, et qui sans lui seraient certainement, de guerre lasse, abandonnés depuis longtemps par leurs auteurs eux-mêmes.

Mais il faut reconnaître que si ce concours est parfois nécessaire, il ne doit être accordé qu'avec une très-grande réserve. Il faut qu'il soit justifié non-seulement par la probabilité du succès, mais aussi par l'importance du but. Il faut qu'un grand intérêt public soit engagé dans la question; il faut qu'il s'agisse, ou d'améliorer les conditions de sécurité, ou d'introduire une notable économie soit dans la construction, soit dans l'exploitation des voies ferrées. Sous le régime inauguré par les conventions de 1859, ce dernier côté de la question prend une importance nouvelle, puisque l'État n'est plus intéressé seulement d'une manière indirecte à la prospérité financière des exploitations de chemins de fer.

C'est à ce titre, et surtout au point de vue de l'influence

du matériel moteur sur les conditions de tracé, que se justifierait la participation de l'État à des expériences sur ce matériel, quoiqu'il ne prenne lui-même aucune part à l'exploitation.

Un essai du système de M. Rarchaert nous paraîtrait donc désirable ; il serait utile peut-être, intéressant à coup sûr. Mais il ne nous paraîtrait fondé cependant *que s'il entraînait seulement une faible dépense.*

Toute la question est de savoir comment se comporterait le système de connexion entre les deux groupes d'essieux, et notamment les balanciers. Nous nous sommes donc demandé s'il ne serait pas possible d'approprier une machine existante à l'expérience, sans lui faire subir des remaniements trop coûteux. Nous nous sommes mis à cet effet en rapport avec les ingénieurs du matériel des lignes de l'Est et de Lyon (*). De son côté M. Rarchaert a étudié la question au même point de vue, de concert avec le service des ateliers du réseau d'Orléans. Cet examen, dont il nous paraît inutile de reproduire ici les détails, a abouti dans les trois cas au même résultat. Nous avons reconnu qu'il faudrait, pour appliquer le système à une machine existante, lui faire subir une refonte telle que la dépense serait peu inférieure à celle de la construction d'une machine neuve.

Aussi l'inventeur lui-même déclare-t-il, dans une note jointe au dossier, qu'il renonce à solliciter un essai sur une machine existante, et il demande que le Gouvernement veuille bien allouer la somme nécessaire à la construction d'une machine neuve, somme qu'il évalue à 120.000 francs environ.

Tout en reconnaissant l'intérêt que présenterait la consta-

(*) M. Bonnet, ingénieur au chemin de fer de l'Est, a été chargé par M. Sauvage, directeur de la compagnie, d'étudier le système Rarchaert au point de vue de son application à un des types de locomotives en usage sur ce réseau. Nous joignons à ce rapport la note que M. Bonnet nous a remise à la suite de cet examen.

tation pratique de la valeur du système, la commission ne pense pas qu'il soit de nature à motiver, de la part de l'État, l'allocation d'une somme aussi considérable, et qui d'ailleurs serait très-probablement insuffisante. Nous avons déjà dit pourquoi nous repoussons l'application du système à des machines d'une très-grande puissance. L'essai, selon nous, devrait avoir lieu sur une machine à huit roues couplées seulement. Mais d'autres solutions existent et ont fait leurs preuves. Deux petites machines accouplées dos à dos, comme les premières machines du plan incliné de Ponte-Decimo à Busalla (sauf des modifications de détail, évidente d'elles-mêmes), ou une machine du système de M. Beugniot, remplissent les deux conditions : adhérence totale des huit roues, flexibilité suffisante pour des courbes de 200 mètres. Nous admettons que la solution de M. Rarchaert peut être préférable sous quelques rapports, mais nous n'admettons pas que la probabilité de ce fait et sa portée soient assez grandes pour justifier, de la part de l'État, un sacrifice considérable. Nous ne pouvons donc qu'exprimer le désir que M. Rarchaert trouve, comme d'autres inventeurs, comme M. Beugniot par exemple, dans le concours d'une des grandes compagnies de chemin de fer, les moyens de soumettre son système de machine au contrôle de l'expérience.

Nous proposons d'ailleurs d'appeler, sur ce système, l'attention des compagnies par l'insertion du présent rapport et du mémoire de M. Rarchaert dans les *Annales des ponts et chaussées* et dans les *Annales des mines*.

Signé : AVRIL, *président*.
MARY.
BUSCHE.
COUCHE, *rapporteur*.

17 février 1863.

NOTE.

Un des exemples les plus remarquables de la traction sur des rampes très-inclinées, celui de la traversée des *Montagnes-Bleues* (État de Virginie), a été cité très-souvent, mais rarement d'une manière exacte et complète.

Le tracé définitif comprenait un souterrain d'une longueur médiocre (1.300 mètres), mais qui devait, en raison de la nature de la roche (*trapp* très-dur), exiger plus de six années de travail. M. Ellet se décida en conséquence à franchir le faîte à ciel ouvert, par un chemin provisoire.

Cette section a 12 kil. de longueur, dont 7 kil. en très-fortes rampes.

Sur le versant Ouest :

On rachète 137^m,25 sur 3.252 mètres; pente moyenne.. . . . 0,042
L'inclinaison maximum atteint. 0,052

Sur le versant Est :

On rachète 183 mètres sur 38^m,3; pente moyenne. 0,048
Pente maximum. . . . . . 0,056 sur 300 mètres.

Le tracé est très-contourné en plan. Les rampes descendent à 91^m,50 et même 71^m,4. En courbe, l'inclinaison ne dépasse pas 0,036.

Le service est fait par des machines à six roues couplées portant leur approvisionnement. La caisse à eau, contenant 2^{m3},8, est installée sur le corps cylindrique. Les soutes à charbon sont sur les côtés.

L'écartement des essieux extrêmes est de 2^m,24; mais les deux premiers possèdent transversalement à la voie un jeu considérable, réglé par leur liaison mutuelle d'après le système de Baldwin appliqué par M. Beugniot à ses deux premières machines, *la Rampe* et *la Courbe*, citées dans le rapport. — Il va sans dire que le troisième essieu, seul fixe, est l'essieu moteur.

Cette machine pèse, en moyenne, 24^t,5. Elle traîne en temps ordinaire 43 tonnes et quelquefois jusqu'à 50 tonnes quand les rails sont bien secs. La vitesse est de 12 kil. à la remonte et de 10 kil. au plus à la descente. Il y a un arrêt, pour prendre de l'eau, en rampe de 0,052.

On facilite le passage des courbes en appliquant contre chaque roue une éponge fixe, imbibée d'huile, et sur laquelle le boudin

frotte dans son mouvement de rotation. Il ne paraît pas que cet expédient nuise à l'adhérence. La face externe du boudin et le bord interne du rail reçoivent seuls un peu d'huile; elle n'atteint pas la jante.

Avec la charge de 43 tonnes et en rampe de 0,056, il suffit que l'adhérence dépasse la quantité: $\frac{(43+24,5)(0,056+0,004)}{24,5}=\frac{1}{6}$.

D'après les renseignements recueillis sur les lieux par feu M. Henz, habile ingénieur prussien, la locomotive a fonctionné dans des conditions analogues, mais bien plus extrêmes encore, sur deux sections provisoires du chemin de fer de Baltimore à l'Ohio. L'une de ces sections avait des *zigzags* avec rampes de 0.055 et même 0,064 et courbes de 91^m,50. Sur l'autre section, exploitée pendant le percement du souterrain de Kingwood, l'inclinaison s'élevait à 0,1.

La traction était faite par des machines à huit roues couplées et à essieux parallèles et fixes et à tender séparé Cette machine pèse garnie 27 tonnes; le tender, 23 tonnes. Ce moteur, pesant 50 tonnes, remorquait 13 tonnes à la vitesse de 13 kil. sur la rampe de 0,1, dont M. Henz n'indique pas la longueur.

Si cette longueur était telle que la vitesse dût être uniforme, l'adhérence devait être supérieure à $\frac{(50+13)(0,1+0,004)}{27}=\frac{1}{4,1}$.
on devrait donc être souvent bien près de la limite.

Une machine à tender séparé n'était d'ailleurs nullement appropriée à de telles conditions de tracé; conditions trop outrées au surplus pour qu'on puisse les admettre, même avec un moteur à adhérence totale, autrement qu'à titre temporaire.

NOTE

SUR L'APPLICATION DU SYSTÈME DE M. RARCHAERT A UNE MACHINE EXISTANTE.

Par M. BONNET, chef du bureau des études du matériel roulant au chemin de fer de l'Est.

Nous prenons comme géométriquement acquise la nouvelle transmission de mouvement entre deux trains articulés proposée par M. Rarchaert.

Nous admettons comme pratiquement résolue la possibilité d'exécuter d'une manière solide et durable :

1° Le pivot d'articulation entre les deux châssis, comme cela existe déjà dans les machines Engerth ;

2° L'axe de suppprt des balanciers avec son articulation sphérique sur la cheville d'accouplement des deux châssis, et avec les deux barres de supports destinées à le maintenir horizontal et qui vont s'appuyer sur les essieux voisins en avant et en arrière ;

3° Les balanciers placés aux extrémités de cet axe, au point de vue du degré de rapprochement du ballast de leur extrémité inférieure, et des têtes de bielle qui s'y rattachent ; rapprochement nécessité par la longueur des bras de ces balanciers, qui doit être plus grande d'un quart environ que les manivelles ; par l'exiguïté du diamètre des roues d'une machine puissante, et enfin par la grandeur de la course du piston, qui détermine les manivelles (à moins d'employer des cylindres intérieurs et essieux coudés, ce qui permettrait de réduire les manivelles d'accouplement et les balanciers) ;

4° Les boutons de manivelles à 90 degrés renvoyés par des bras analogues à ceux de la transmission des excentriques dans les machines Crampton ;

5° La transmission de la pression par des boutons sphériques nécessités par l'angle de flexion que prennent les deux châssis entre eux dans le passage des courbes. Ces boutons sphériques existant sur chacune des deux paires de roues convergentes ainsi qu'aux extrémités des balanciers.

Cela posé, nous examinerons si le système de M. Rarchaert est applicable à des machines existantes, et la dépense approximative de l'application soit à une machine existante, soit à une machine neuve.

Dans toutes les machines existantes (sauf au chemin de fer du Nord), le foyer vient se loger entre les longerons et contre les essieux. En outre, le foyer est en porte-à-faux sur l'essieu d'arrière, ou bien il est placé entre l'essieu du milieu et celui d'arrière, et il descend toujours au niveau des essieux ou même plus bas.

Or dans le train articulé de M. Rarchaert, l'espace compris entre les deux essieux convergents est occupé tout entier par l'articulation et l'axe de support les balanciers, et conséquemment ne peut être occupé par la boîte à feu. Ainsi, dans un tel train, la boîte à feu ordinaire ne peut exister qu'entre l'essieu du milieu et celui d'arrière du premier train, ou bien entre l'essieu d'avant et celui du milieu du train d'arrière.

Ceci exclut d'un seul coup de l'application toutes les machines dont le foyer est en porte-à-faux à l'arrière, qu'elles soient à trois ou ou à quatre essieux. Sinon, il faudrait rogner la chaudière pour intercaler la boîte à feu entre l'essieu du milieu et celui d'arrière, ou bien l'allonger énormément pour loger le foyer entre les essieux d'avant et du milieu du train d'arrière. Dans ces deux cas, une pareille modification équivaudrait à une reconstruction, et la dépense serait tellement exagérée que mieux vaudrait avoir recours à une construction neuve, puisque, en outre, il faut créer à neuf le train d'arrière. Les machines Engerth même, qui ont une articulation en avant de la boîte à feu ne sont pas applicables, parce que la cheville d'articulation est placée exactement dans le même plan vertical que l'essieu d'arrière; tandis que la transmission Rarchaert exige que l'axe de la cheville et celui de l'arbre horizontal de support des balanciers soient dans un même plan vertical placé à égale distance entre les deux essieux convergents; ou bien il faudrait allonger encore la chaudière de l'Engerth, déjà si pesante, pour la loger entre les deux essieux avant et milieu du train d'arrière : reconstruction coûteuse et même impossible.

Si nous prenons maintenant les machines qui ont un essieu à l'arrière de la boîte à feu, on pourra, il est vrai, modifier l'arrière du châssis pour obtenir l'articulation; mais on remarquera que l'écartement des essieux extrêmes dans ces machines est de 0,75 à 1 mètre au moins plus grand que dans les autres machines équivalentes, et cela sans profit pour la puissance de la machine, puisque la chaudière y est ordinairement plus courte qu'avec la boîte à feu

en porte-à-faux. De plus, le châssis d'arrière doit être construit entièrement à neuf. Enfin cette disposition n'ajouterait rien à la puissance de telles machines, dont l'adhérence est presque toujours parfaitement en rapport avec la puissance.

Quand même il serait possible de loger un foyer entre deux longerons et deux essieux, soit du train d'avant, ou mieux du train d'arrière, sans que l'augmentation de la distance entre les deux essieux extrêmes fût nuisible au passage dans les courbes, il est bien certain qu'une chaudière semblable, ne pouvant avoir une boîte à feu plus large qu'elles ne sont généralement aujourd'hui dans des conditions ordinaires, resterait dans des limites de puissance qui ne paraissent pas devoir motiver l'application du système Rarchaert; car ce n'est pas la longueur des tubes, mais surtout leur nombre et conséquemment la largeur de la boîte à feu et sa grandeur qui peuvent influer essentiellement sur l'augmentation de puissance des chaudières tubulaires.

Pour toutes ces raisons, il nous a semblé :

1° Que l'appareil Rarchaert n'était ni utilement ni pratiquement ni économiquement applicable aux machines existantes;

2° Que cet appareil n'était applicable qu'à des machines neuves semblables à celles qui ont été récemment construites au chemin de fer du Nord, dont la chaudière, placée entièrement au-dessus du tablier qui recouvre le châssis et les roues, peut être répartie, ainsi que les soutes à eau et à houille, au-dessus des roues sans avoir à s'occuper d'autre chose que d'une répartition égale de la charge sur chaque paire de roues. Cette disposition est la seule qui permettra une chaudière colossale en même temps que le plus grand rapprochement des roues extrêmes de chaque châssis pour le passage dans les courbes.

Si l'on considère une machine à deux trains de trois essieux, on ne peut admettre un poids plus considérable par essieu que le poids actuel des machines à huit roues couplées qui pèsent en charge 69.345 kil., soit 11,5 tonnes par essieu, à cause de la voie. Les chaudières auraient donc la même puissance que celles des Engerth actuelles, soit 200 mètres quarrés, et seraient équivalentes comme poids; il en serait de même de tout l'attirail. Seulement, il faudrait ajouter approximativement 3.000 kil. de plus pour l'arbre des balanciers, sa rotule et ses supports, pour les balanciers et tout le système de bielles, manivelles des roues, etc. Dans cette hypothèse, la machine pèserait 72 tonnes en charge, soit 12 tonnes par essieu.

Les machines Engerth ont coûté 115.000 francs en 1854-55. En

estimant les 3.000 kil. de surplus à 2f,10, ce serait donc une dépense de 6.300 francs à ajouter à 115.000 francs.

Enfin nous observerons que le système de M. Rarchaert ne présente un caractère d'utilité actuelle que pour les tracés en montagne et n'a aucune opportunité pour la plupart des lignes françaises, par exemple la ligne de l'Est, dont les plus fortes rampes ne dépassent guère 12 millimètres, et encore sur des parties de lignes appartenant à des embranchements secondaires. Toutes les machines à marchandises, celles à huit roues couplées comme les autres, ont une adhérence qui est parfaitement en rapport avec leur puissance; elles n'ont pas besoin de plus de flexibilité pour passer dans les courbes qu'elles parcourent. La machine à douze essieux accouplés avec une chaudière équivalente à celle des Engerth, comme il a été dit, ne traînerait probablement pas une charge plus forte que l'ancienne Engerth, aujourd'hui découplée, et à quatre essieux seulement.

La solution du problème proposé par M. Rarchaert est sans doute très-intéressante au point de vue général de l'étude des chemins de fer en pays de montagne; mais, pour la compagnie des chemins de fer de l'Est en particulier, elle est sans intérêt, dans la limite de puissance reconnue comme actuellement suffisante pour les plus fortes machines.

MÉMOIRE

SUR UNE LOCOMOTIVE ARTICULÉE A DOUZE ROUES COUPLÉES PROPOSÉE POUR L'EXPLOITATION DES CHEMINS DE FER A FORTES RAMPES ET A PETITES COURBES.

Par M. LUCIEN RARCHAERT.

« Si les chemins de fer peuvent aujourd'hui opérer en grandes « masses, et, par suite, à bas prix, le transport des grosses mar- « chandises, le mener de front avec un énorme mouvement de « voyageurs, enlever aux routes et disputer aux canaux leur clien- « tèle ordinaire, développer largement leur influence vivifiante et « proportionner leur puissance de trafic à l'activité qu'ils tendent « à imprimer à la circulation, ils le doivent aux progrès inespérés « de la force des locomotives. »

« Mais ce progrès ne réagit pas d'une manière moins profonde, « dans certains cas, sur les conditions mêmes de l'établissement « des chemins de fer, que sur le développement de leur trafic : « grâce à lui, ils deviennent moins onéreux dans les contrées acci- « dentées; ils deviennent possibles dans les circonstances qui les « repoussaient absolument il y a peu d'années encore, ou ne les « admettaient qu'à condition de renoncer au mode de traction ordi- « naire. Le constructeur de machines a ainsi étendu et simplifié en « même temps la tâche de l'ingénieur et allégé les charges impo- « sées à la fortune publique; chaque jour les exigences de tracé « deviennent moins impérieuses, elles se plient aux conditions les « plus difficiles, et, comme les canaux à point de partage, les che- « mins de fer franchissent des obstacles qui semblaient insurmon- « tables pour eux. »

Les lignes qui précèdent sont extraites du mémoire publié par M. Couche en 1852, et intitulé *Des progrès des machines locomotives et de leur influence sur les conditions d'établissement des chemins de fer* (*).

L'auteur, en écrivant ce mémoire, s'était donné pour but de rendre saillante l'influence que les progrès des locomotives avaient déjà exercée sur la question de l'établissement à bon marché des

(*) *Annales des mines*, 5e série, tome I, 1852, page 252.

chemins de fer, et surtout ce que l'avenir permettait d'espérer encore, d'après les résultats obtenus avec les machines locomotives expérimentées lors du concours de Vienne, pour le passage du Semmering.

Mais depuis cette époque, sauf quelques perfectionnements de peu d'importance, la mécanique n'a apporté aucune amélioration sensible dans la construction des locomotives, et le problème qui consistait à trouver des machines *flexibles et capables tout à la fois d'utiliser toute leur adhérence* n'est pas encore résolu pratiquement. En effet, les essais qui ont été faits dans tous les pays, jusqu'à ce jour, pour rendre solidaires les essieux non parallèles des locomotives, n'ont eu pour but que l'application d'inventions anciennes et abandonnées, telles que les chaînes sans fin et les engrenages, et si, en dehors des vieux systèmes, quelques efforts ont été tentés, on reconnaît qu'au lieu d'attaquer résolument la difficulté, ces efforts n'ont eu d'autre résultat que de chercher à la tourner sans la résoudre, et que s'ils n'ont pas réussi, ils doivent leur échec à leur peu de valeur pratique.

Le problème n'est certes pas facile, et j'ai pu m'en convaincre depuis sept ans qu'il fait ma préoccupation de chaque jour; cependant, le principe une fois découvert, un grand pas avait été franchi, et avec de l'étude, des conseils éclairés et de la persévérance, il était permis d'espérer pouvoir atteindre la solution de ce problème capital pour la construction et l'exploitation à bon marché des chemins de fer.

Les conseils ne m'ont pas manqué; je dois à l'obligeance de M. Couche une lettre datée du 4 octobre 1855, qui contient sur mon procédé d'accouplement des appréciations très-justes et l'indication de la voie pratique, en même temps qu'elle est pour moi un titre précieux à la priorité de conception de ce système d'accouplement articulé (*). J'ai étudié aussi avec toute l'ardeur que

(*) Paris, le 4 octobre 1855.

Monsieur,

Je trouve, en revenant de voyage, les pièces que vous m'avez communiquées; je n'ai pu en faire qu'un examen sommaire, le temps me manquant pour une étude plus approfondie.

Le mode d'accouplement proposé par M. Rarchaert a certainement la propriété de permettre la convergence, en courbe, sans exiger aucun jeu dans les pièces articulées; mais il rencontrerait des difficultés d'exécution et présenterait des inconvénients assez graves. Ainsi il est indispensable de réduire à une amplitude assez faible l'oscillation des balanciers, et, par suite, de leur donner une grande longueur, ce qui exagère l'obliquité des bielles très-courtes et conduit à des écarts très-considérables dans le mode de répartition de la charge sur les essieux.

J'ajouterai que quand les roues qu'il s'agit de coupler supportent un *même*

donne la confiance, et, en rapprochant les dates, on jugera de ma persévérance à poursuivre un problème dont, j'en ai la conviction intime, je possède la solution définitive.

Cette conviction est encore augmentée par l'accueil sympathique que mon système a rencontré auprès d'illustres ingénieurs, et aussi par les discussions auxquelles il a donné lieu à la Société des ingénieurs civils, dans les séances du 5 octobre et 16 novembre 1860, entre MM. Larpent et Gouin, qui s'en sont vivement disputé la priorité d'invention.

(Les prises de date indiquées par ces ingénieurs sont de quatre et cinq ans postérieures à la mienne.)

Si depuis longtemps je n'ai pas cherché à donner une suite sérieuse à ma découverte, c'est parce que ce problème très-complexe renfermait encore quelques difficultés que je n'ai résolues que dernièrement; mais dès que j'ai été en possession de sa solution tout entière, je me suis fait un devoir d'envoyer à M. le ministre des travaux publics un modèle d'une locomotive articulée à douze roues couplées, dans la persuasion que ce système peut, dès à présent, sortir victorieux de l'expérience pratique, et qu'il allégera d'une manière sensible les dépenses d'établissement des chemins de fer qui restent à construire.

La machine que j'ai l'honneur de proposer se rapproche beaucoup, quant aux dispositions générales, de celle connue sous le nom d'Engerth. Mais ce qui la distingue particulièrement de ce système, c'est le mode de connexion destiné à rendre solidaire le dernier essieu du train d'avant avec le premier essieu de l'arrière-train, de manière à utiliser ainsi, pour l'adhérence, le poids total de la machine.

Nous avons dit que tout le problème de la construction d'une machine de grande puissance consistait à trouver le moyen pratique

---

châssis non articulé, le déplacement des essieux est, par cela même, si limité qu'il n'y a peut-être pas une grande utilité à substituer à la bielle unique un appareil plus compliqué; car il faut toujours en définitive que l'essieu qu'on rend solidaire avec l'essieu moteur vienne *pousser* le châssis, en s'appuyant sur les plaques de garde, ce qui ne permet dans celles-ci qu'un jeu très-limité des boîtes.

La même restriction ne s'appliquerait pas, par exemple, à l'accouplement des roues d'arrière des machines Engerth, puisque ces roues sont fixées sans jeu à un train articulé.

En somme (et sauf examen plus complet), l'idée de M. Rarchaert renferme peut-être un germe utile, mais il faudrait que l'auteur s'attachât à la produire sous la forme d'un projet dans lequel il tiendrait compte des conditions techniques du problème, et qui s'appliquerait même à un type déterminé de locomotives.

Recevez, etc.

Signé Couche.

d'accoupler les roues des essieux convergents; et, en effet, une fois en possession de ce mécanisme d'accouplement, il devient facile de donner à la machine une grande flexibilité tout en disposant de tout son pouvoir adhérent sans y être limité par l'écartement des roues extrêmes, qui peuvent dès lors s'inscrire dans les courbes, et la puissance de la machine peut s'étendre pour ainsi dire indéfiniment, par la possibilité que l'on a d'accoupler toutes les roues, et de donner en même temps au foyer et à l'appareil évaporateur les plus grandes dimensions.

Le type de machine qui me paraît dès à présent remplir les meilleures conditions au point de vue de l'exploitation à la fois des lignes à grand trafic et des chemins à fortes rampes et à petites courbes, serait une locomotive à huit roues couplées, de 1m,50 de diamètre, du poids en charge de 40 à 45 tonnes, et munie d'un générateur de 150 mètres quarrés de surface de chauffe. Cette machine serait supportée par deux châssis dont l'un serait rendu mobile, lesquels porteraient chacun deux essieux respectivement parallèles accouplés au moyen de bielles. La transmission du mouvement de rotation des roues serait complétée pour les essieux convergents les plus rapprochés des différents châssis, par un appareil que j'ai imaginé et dont je vais donner plus bas la description.

Jusqu'à présent, les bielles rigides horizontales ont été le seul moyen pratique employé pour accoupler les roues des locomotives; mais ce procédé, qui permet d'utiliser pour l'adhérence le poids total des machines ordinaires dont le parallélisme des essieux est maintenu par un châssis rigide, est d'une application impossible lorsqu'il s'agit d'établir la solidarité entre les essieux convergents des locomotives articulées qui sont fixés à des châssis mobiles, parce que ces bielles, formées d'une tige rigide dont la longueur ne peut varier, s'opposent aux mouvements angulaires que les essieux mobiles prennent dans les courbes. La difficulté consiste donc à trouver des bielles qui s'allongent et se raccourcissent suivant que les roues auxquelles elles transmettent le mouvement parcourent l'extérieur ou l'intérieur de la courbe, et faire que la bielle qui doit s'allonger profite du raccourcissement de celle placée du côté opposé de la machine, et réciproquement. Une autre condition à remplir, c'est celle d'obtenir que ces bielles, tout en variant de longueur en raison du déplacement des essieux, conservent cependant toute la rigidité nécessaire pour transmettre le mouvement de rotation des roues. Ce résultat ne peut être obtenu qu'au moyen d'un système articulé, et voici celui que je propose:

Exactement au milieu de la distance que séparent deux essieux convergents, et de chaque côté de la machine, je place verticalement un balancier dont les longueurs de bras, égales d'ailleurs, sont un peu plus grandes que le rayon des manivelles d'accouplement des roues; je réunis ensuite par des bielles rigides les extrémités des balanciers aux boutons de ces manivelles, et il arrive que, dans le mouvement de la machine, les balanciers décrivent un arc de cercle pendant le temps que les manivelles décrivent une circonférence (Pl. V, *fig.* 5).

Si l'on compare les éléments de chaque circonférence de roues entraînées dans un temps donné, on les trouve identiques; si ensuite on examine les points morts ou énergiques des manivelles, on voit qu'ils correspondent aux mêmes positions sur le balancier oscillatoire; ce qui fait conclure que, puisque d'une part l'entraînement ayant lieu régulièrement d'une roue à l'autre, et que, d'autre part, l'effort du piston étant transmis à l'adhérence de la même manière qu'il a lieu à l'essieu moteur, le nouveau système d'accouplement est aussi rationnel que le procédé ordinaire à bielles horizontales.

Dans les courbes, les variations de distance entre les essieux convergents se trouvent compensées sur l'arc décrit par le balancier; c'est-à-dire que, le balancier commençant ou finissant sa course un peu plus tôt ou un peu plus tard, l'arc de cercle n'est plus symétrique par rapport à la verticale qui passe par le centre du balancier (*fig.* 6).

La difficulté qui consistait à trouver des bielles pouvant s'allonger et se raccourcir, tout en transmettant le mouvement, se trouve donc résolue par cette disposition : voilà pour le principe.

Voyons maintenant quelles sont les autres conditions que ce système doit remplir.

Si la machine était montée sur deux châssis articulés en leur milieu par une cheville, comme le sont par exemple les wagons américains (*fig.* 7), le système d'accouplement pourrait fonctionner régulièrement dans toute sa simplicité, parce que la condition essentielle à son fonctionnement régulier se trouve dans la position du centre du balancier, qui doit toujours être placé à une distance exactement égale des centres des bouts des essieux les plus rapprochés.

Dans l'exemple que nous prenons, cette équidistance serait toujours obtenue, puisque, dans un pareil système, un châssis portant un groupe d'essieux ne pourrait pas se déplacer sans que l'autre châssis fît un mouvement exactement semblable par rapport au

châssis supérieur auquel seraient suspendus, je suppose, les balanciers. Cependant la transmission du mouvement ainsi donnée des roues d'un châssis mobile aux roues d'un autre châssis également mobile, serait défectueuse ou incomplète :

Cette transmission serait défectueuse si les bielles, attachées d'une part aux extrémités des balanciers, correspondaient d'autre part à des manivelles placées à angle droit par rapport à elles sur les roues du côté opposé de la machine, comme elles sont disposées ordinairement dans les machines à essieux fixes et parallèles, pour éviter la coexistence de deux points morts. On voit, en effet, que dans une semblable machine articulée, dont les deux châssis sont *libres*, il faut, pour que la machine ne soit pas constamment sollicitée à tourner sur elle-même, tantôt dans un sens, tantôt dans un autre, suivant la direction des efforts exercés par les organes de transmission, que cette transmission s'exécute exactement de la même manière de chaque côté de la machine, afin qu'il y ait entre ces deux côtés un équilibre constant et un accord parfait.

Si les manivelles sont placées à angle droit, cet accord ne peut pas exister ; la machine fonctionne cependant, mais elle fonctionne mal, elle est sujette à dérailler.

Pour obtenir cet équilibre si nécessaire, il suffit de placer les balanciers dans une position complétement identique, en faisant correspondre nécessairement ces balanciers à des manivelles symétriques par rapport à elles, d'un côté de la machine à l'autre côté (*fig.* 8). La transmission du mouvement des roues étant ainsi donnée, l'équilibre entre les deux côtés de la machine est obtenu, par la raison que les bielles fonctionnant *dans le même sens et en même temps*, les efforts exercés ont la même intensité et la même direction; mais cette transmission de mouvement serait incomplète, puisque les *points morts* des manivelles correspondraient exactement au même instant de la rotation des roues.

Pour faire disparaître ces *points morts* et obtenir un mouvement continu, on est obligé d'employer deux autres balanciers agissant aussi dans le même sens et en même temps, en les faisant correspondre à des contre-manivelles calées par rapport au centre de la roue à angle droit sur les premières manivelles qui sont formées par le prolongement du moyeu des roues (voyez *fig.* 13), de sorte que, quand un système de manivelles symétriques se trouve au point mort, les autres manivelles soient au point énergique, et réciproquement.

Nous avons supposé, pour plus de simplicité, la machine portée sur deux châssis qui peuvent se déplacer librement autour d'une

cheville ouvrière occupant le centre de figure de ces châssis; mais il n'en est pas ainsi dans l'exécution : une machine construite sur ce principe, outre qu'elle entraînerait à de grandes complications pour les conduits de la vapeur portée de la chaudière dans les cylindres, présenterait probablement peu de solidité, puisqu'elle serait supportée seulement par les deux chevilles ouvrières sur lesquelles elle pivoterait. De plus, il est important que le bâtis qui porte les cylindres soit solidaire avec la machine même, pour obtenir une grande solidité d'attache des organes moteurs, qui éprouvent le plus de fatigue. C'est ici que le perfectionnement apporté par M. Engerth à la machine américaine doit trouver son application.

Ce perfectionnement consiste, comme on le sait, à reporter à l'arrière le châssis mobile qui, ordinairement placé à l'avant dans les locomotives américaines a, par la mobilité de ses roues directrices, une influence si défavorable à la stabilité de la machine.

La cheville d'articulation n'est pas non plus placée au centre de figure de ce châssis; mais elle est reportée en avant de manière à donner plus de flexibilité à la machine, laquelle est ainsi plutôt portée par le châssis mobile sur deux plateaux tournants que sur la cheville elle-même. Il en résulte que l'axe longitudinal de la machine, à partir de l'avant jusqu'au point O qui vient s'articuler avec le châssis mobile, et l'axe de celui-ci constituent les côtés d'un polygone régulier circonscrit sur la ligne qui forme comme l'axe de la voie de fer (*fig.* 9).

Mais ces changements, qui viennent améliorer les dispositions du véhicule, amènent des conséquences importantes pour le mécanisme d'accouplement articulé. D'une part, les balanciers ne peuvent plus être fixés aux longerons, ainsi que nous l'avions supposé; et, quand bien même cette condition pourrait être remplie, elle s'opposerait, d'autre part, au maintien du centre des balanciers à une égale distance des centres des bouts des essieux, distance qu'il est indispensable de conserver toujours exactement, malgré toutes les inflexions que peut prendre la machine dans les différentes courbes que présente la voie. Cette partie du problème était peut-être la plus difficile, après celle toutefois de la recherche du principe d'accouplement, que j'ai résolu par la découverte des balanciers, et, ici encore, j'ai été assez heureux pour trouver une solution simple et efficace tout à la fois.

Dans cette machine à véhicule perfectionné, je place les balanciers sur un axe horizontal, sorte d'essieu pouvant se déplacer autour d'une forte cheville qui passe par son milieu. Cet axe se trouve

à égale distance des essieux convergents les plus rapprochés et parallèle avec eux lorsque la machine est en ligne droite. La convergence de cet axe, c'est-à-dire sa position perpendiculaire à la voie lorsque la machine entre en courbe, est obtenue *sans aucun organe* de transmission, et son déplacement s'opère naturellement par le déplacement même des balanciers que nécessite les changements de direction des trains mobiles. On pourra comprendre les causes de ce mouvement de l'axe au moyen de la *fig.* 10.

Soient A l'essieu fixe et B l'essieu mobile. Les deux roues de ce dernier essieu, en se déplaçant, entraîneront d'une même quantité l'extrémité du balancier qui leur est attaché par les bielles *d*,*d'*. L'axe *c* se trouvant solidaire avec ces balanciers, en traversant leur *milieu*, sera entraîné de chaque côté en se déplaçant autour du point *o* exactement de la *moitié de la quantité* du déplacement opéré par l'essieu mobile, et la distance des extrémités de cet axe et les bouts des deux essieux sera toujours égale.

C'est la conséquence de la position symétrique des balanciers donnant le mouvement dans le même sens et en même temps pour obtenir l'équilibre entre les deux côtés de la machine, qui amène cet heureux résultat de la convergence de l'axe portant les balanciers. Ce résultat si remarquable est dû à une cause si simple et si inattendue que mes concurrents ne l'ont pas comprise; car dans les discussions qu'ils ont eues à la Société des ingénieurs civils, ils se sont attachés à démontrer la supériorité de leur principe en prétendant que le mien n'était pas applicable, « précisément parce que je ne m'étais pas préoccupé d'assurer les conditions nécessaires de symétrie de liaison par rapport à l'axe support des balanciers. » Tandis que si ces ingénieurs avaient examiné plus attentivement, ils auraient reconnu que mon système est au contraire très-applicable, et supérieur aux leurs, par cette seule raison qu'il est tout simple, et que là où ils veulent appliquer des parallélogrammes, des leviers, tiges et autres moyens de transmission pour obtenir cette convergence, JE NE METS RIEN!

Nous avons dit que l'axe portant les balanciers est traversé par une forte cheville sur laquelle il s'appuie pendant la transmission du mouvement des roues. Cette cheville se trouve placée sur la ligne verticale de l'articulation des châssis; elle est maintenue par deux forts croisillons boulonnés de chaque côté de l'un de ces châssis; et, de même qu'elle est de forme sphérique, pour se prêter aux mouvements d'oscillation latérale de la machine, sans influer sur l'axe portant les balanciers qui fait partie du mécanisme des roues, dont les mouvements sont indépendants de ceux de la

chaudière, les extrémités de cette cheville sont *libres* d'un petit mouvement *vertical* dans le centre des croisillons qui la maintiennent, de sorte que la machine peut osciller dans tous les sens sans nuire pour cela au mécanisme d'entraînement des roues, et que, réciproquement, les variations de hauteur causées par les inégalités de la voie n'auront aucune influence fâcheuse sur ce mécanisme, qui est libre de tout mouvement.

Pour maintenir cependant l'indépendance de ce mécanisme d'accouplement dans des conditions d'application pratique, il est indispensable de rendre l'axe-support des balanciers solidaire dans le *sens vertical*, avec les deux essieux les plus rapprochés, de manière à empêcher les mouvements verticaux des extrémités de cet axe, qui ne manqueraient de se produire par plusieurs causes, et qui exerceraient sur la régularité de fonctionnement du système d'accouplement une influence perturbatrice. A cet effet, je place deux barres EE′ très-rigides, de la forme représentée par la *fig.* 15, traversées en leur milieu par l'axe porteur des balanciers, et embrassant à leurs extrémités terminées en fourche, avec assez de jeu pour permettre le déplacement angulaire des essieux convergents les boîtes à graisse de ces essieux, ou des coussinets qui seraient placés latéralement à ces boîtes. Ces barres ont en outre l'utilité de maintenir la direction du mouvement des bielles d'accouplement, en détruisant les efforts obliques que ces bielles exercent sur les balanciers, et qui tendent à les abaisser ou à les soulever par leur position différente lorsque la machine parcourt des courbes.

Une importance majeure aussi que j'attache à l'application de ces deux barres, c'est la propriété qu'elles ont, outre les deux fonctions que nous venons de leur voir remplir, de maintenir toujours, malgré toutes les inégalités que peut présenter la voie, la position du centre des balanciers sur la ligne horizontale, qui joint les centres des roues. Cette condition est indispensable pour le bon fonctionnement de la machine. On aidera, d'autre part, au maintien de cette position normale du centre du balancier en disposant les bielles obliques en sens inverse. Ainsi placées, les paires de bielles, en s'arc-boutant l'une contre l'autre, détruisent mutuellement la tendance qu'elles pourraient avoir à se soulever ou à s'abaisser pour éloigner les centres des balanciers de leur point normal suivant la ligne horizontale qui joint le centre des roues.

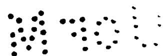
Notre étude de la combinaison du mécanisme d'accouplement articulé semblerait être complète ici, et elle le serait en effet s'il ne s'agissait que d'établir la solidarité entre deux essieux conver-

gents; mais dans le problème que nous nous sommes posé, il n'en est pas tout à fait ainsi, puisque la machine que nous proposons suppose quatre ou six essieux, et ces deux ou quatre essieux supplémentaires, placés parallèlement par un ou par deux à chacun des deux essieux convergents. Or, dans les machines à essieux parallèles, les bielles d'accouplement, au lieu d'être placées suivant une *exacte* symétrie de chaque côté de la machine, agissent sur des manivelles qui sont calées à angle droit, de sorte que l'une de ces bielles d'accouplement se trouve couvrir le milieu de la circonférence décrite par le bouton de sa manivelle, pendant que la bielle du côté opposé de la machine est placée au bas ou en haut de cette circonférence. Nous avons vu, d'autre part, que pour obtenir l'équilibre nécessaire en ce qui touche l'accouplement articulé, qui agit sur deux systèmes *d'essieux libres* l'un de l'autre, nous avons été obligés de recourir à la symétrie *exacte* dans le placement des balanciers, pour leur faire transmettre le mouvement simultanément et dans le même sens de chaque côté de la machine, et que cette simultanéité de mouvement exige la nécessité de placer aussi les bielles obliques dans une position exactement symétrique. Ces deux moyens d'accouplement (essieux parallèles et essieux convergents) ne paraissent donc pas compatibles, par la différence de position des bielles et des boutons de manivelles; il s'agit cependant de concilier leur réunion pour compléter ainsi la transmission du mouvement de rotation à toutes les roues de la machine.

Soient A, B les essieux convergents (*fig.* 11) et C, D les essieux respectivement parallèles avec eux. On pourrait à la rigueur obtenir la réunion totale de ces essieux en plaçant deux bielles horizontales EE' joignant les boutons de manivelles les plus proches des roues et compléter cette réunion par deux autres bielles GG' embrassant les boutons des contre-manivelles extérieures; mais cette combinaison, toute parfaite qu'elle puisse être au point de vue d'un bon moyen de transmission, paraîtra peut-être d'une grande complication : elle est compliquée en effet, puisqu'elle entraîne avec elle l'application d'un double système de bielles horizontales.

Il m'a paru que le nombre de ces bielles pouvait être diminué, et une étude attentive m'a amené à adopter la disposition suivante (*fig.* 12), qui restreint le nombre des bielles à celui qu'exigent ordinairement les essieux parallèles, c'est-à-dire une seule bielle de chaque côté de la machine.

Au lieu de joindre les roues par des bielles horizontales exactement symétriques de chaque côté de la machine, comme dans l'exemple précédent, j'opère cette jonction sur l'un des côtés seu-



lement, avec le bouton de manivelle placé entre la roue et la tête de la contre-manivelle; c'est-à-dire que les bielles RS, qui correspondent aux balanciers, sont rapprochées des roues, et que sur les mêmes boutons de manivelles auxquels sont attachés les bielles R je place latéralement, à l'extérieur, les deux bielles horizontales T, U. Après ces dernières bielles, et sur les mêmes boutons, viennent se caler, à l'extérieur, les deux contre-manivelles V, X, sur les boutons desquelles agit alors le système de bielles et de balanciers R'.

De l'autre côté de la machine, les bielles horizontales YZ, au contraire, agissent sur les boutons des contre-manivelles, et les points morts et énergiques sont ainsi croisés, dans cet accouplement horizontal, avec l'emploi d'une seule bielle de chaque côté.

Les différences d'écartement par rapport à l'axe de la machine sont compensées, d'une part, par l'épaisseur des têtes de bielles T, U, et, d'autre part, par l'épaisseur des contre-manivelles M, N, de sorte que l'accouplement articulé conserve toujours son équilibre parfait en agissant sur les deux bras rigoureusement égaux de l'axe-support des balanciers. Il existe bien, il est vrai, une petite différence entre la distance aux roues et, par suite, à l'axe de la machine, pour les bielles T, U, comparativement aux bielles Y, Z, mais ces bielles agissant sur des essieux maintenus parallèlement par un châssis rigide, cette légère différence peut être considérée comme nulle, et ce petit défaut de la machine (car c'en est un) peut être négligé.

La simplification ainsi obtenue n'est pas, d'ailleurs, le seul avantage que présente cet agencement des bielles, car en restreignant aux simples essieux convergents l'application de contre-manivelles, on trouve la possibilité de placer les cylindres extérieurement, en faisant agir les bielles motrices sur les boutons des manivelles du deuxième essieu dans les machines dont l'avant-train possède trois essieux (voyez *fig.* 14) avec arrière-train de deux ou trois essieux, ce qui porterait à dix ou douze le nombre total des roues. Ces machines de grande puissance trouveraient leur emploi au remorquage des trains de marchandises sur les grandes lignes, conjointement à leur application sur les lignes secondaires à petites courbes, pour franchir les rampes exceptionnelles auxquelles on serait obligé d'avoir recours, si le profil du sol était très-accidenté. En employant des roues d'un très-petit diamètre, 1^m,05, et en rapprochant les essieux le plus possible, ces machines à douze roues franchiraient facilement des courbes de 100 mètres de rayon.

On remarquera la forme particulière des boutons des manivelles

et des coussinets des bielles d'accouplement articulé (*fig.* 13) pour permettre la transmission du mouvement des roues suivant une direction oblique, lorsque la machine s'infléchit dans les courbes. On arrive ainsi, avec cette simple disposition à rotule, à permettre à ces différentes pièces, sans leur donner aucun jeu, de prendre toutes les directions obliques différentes que commandent des mouvements de ce genre. Les boutons des balanciers sont également à rotule.

Il nous reste à parler des machines de très-grande puissance dont la *fig.* 14 montre l'ensemble du mécanisme moteur. Cette machine, supportée par douze roues, serait capable d'un effort de traction considérable, et l'application seule de l'accouplement articulé à ces machines constituerait déjà un grand progrès, puisque cette construction permettrait d'augmenter pour ainsi dire indéfiniment la puissance des locomotives, et d'obtenir d'elles, par cette raison, une réduction sur les frais de transport des grosses marchandises. Voici, à ce propos, ce que M. Couche écrivait dans l'analyse qu'il a faite dans les *Annales des mines* (*) de la machine Engerth, lors de son introduction en France et de son adoption par quelques compagnies pour leur service des trains de marchandises :

« La construction de locomotives à petite vitesse et très-puissantes est en ce moment, de toutes les questions techniques à l'ordre du jour sur les chemins de fer, la plus pressante et la plus discutée.

« Le problème a deux faces : les exigences auxquelles il faut satisfaire sont tantôt celles du tracé, tantôt celles du trafic.

« C'est sous la première forme qu'il s'est présenté en Allemagne dans toute sa complication. Tandis que des rampes d'une inclinaison inusitée exigent de la part des machines un effort de traction énorme ; l'extrême roideur des courbes met en défaut le seul moyen pratique d'utiliser toute l'adhérence, c'est-à-dire l'accouplement.

« Cette influence est d'autant plus prononcée que la puissance réclamée par les appareils de vaporisation dont les dimensions transversales sont si limitées, réagit sur leur longueur ; celle-ci réagit à son tour sur l'écartement des essieux extrêmes, de sorte que si la combinaison de rampes et de courbes d'une grande roideur est indispensable pour franchir les obstacles naturels, elle impose au moteur deux conditions très-difficiles à concilier : une grande adhérence et une grande flexibilité.

« Il ne s'agit pas en France de franchir des rampes de $0^m,025$,

(*) *Annales des mines*, 5e série, tome VI (1854), page 243.

mais de remorquer, au moyen d'une seule machine, des masses énormes, de sorte que les conditions de puissance et de vitesse sont à peu près les mêmes dans les deux cas. La question a d'ailleurs une importance capitale; ce n'est pas seulement l'économie des transports à petite vitesse qui est en jeu, c'est la régularité du service, c'est la sécurité des voyageurs, évidemment menacée quand l'activité du double service opéré sur les mêmes rails dépasse une certaine limite. »

Ces considérations s'accordent en tout point à celles que j'ai publiées récemment à propos des derniers accidents de chemins de fer (*). L'application de mon système d'accouplement articulé résoudra ces difficultés de tracé et de trafic, en même temps qu'elle diminuera le nombre des accidents.

(*) *Sur l'exploitation des chemins de fer*, in-8, par Rarchaert. — Paris, Dubuisson et Ce.

MÉMOIRE

SUR LES PÉTROLES DU CANADA.

Par M. GAULDRÉE-BOILEAU, ingénieur des mines,
consul de France au Canada (*).

Une excursion que j'ai faite récemment dans le district d'Enniskillen m'a permis de constater l'exactitude des indications contenues dans un précédent mémoire, sur les sources de pétrole du Haut-Canada. Il n'y avait rien d'exagéré dans les renseignements concernant le nombre des puits, l'abondance de l'huile minérale qui en sortait, et l'importance que ce nouvel article d'échange paraissait appelé à prendre sur les marchés du Royaume-Uni. Les *flowing wells*, ou puits à écoulement continu, se sont multipliés pendant les six derniers mois avec une rapidité dont les gisements de Pennsylvanie n'ont pas fourni d'exemple, et la réputation du pétrole s'est assez bien établie en Angleterre pour qu'une société d'exploitation s'y soit fondée, qu'elle ait levé un capital considérable et qu'elle ait envoyé des agents dans le Haut-Canada pour y faire des achats de terrain.

La station du *Great Western* (chemin de fer qui traverse dans toute sa longueur la péninsule du Canada-Ouest) à laquelle aboutissent maintenant les huiles du district d'Enniskillen, s'appelle Wyoming; elle s'annonce d'assez loin par l'odeur pénétrante et presque intolérable au premier abord, qui s'échappe des vastes réservoirs où le pétrole est accumulé. Cette odeur est un des inconvénients de l'huile minérale du Haut-Canada : l'huile de Pennsylvanie ne l'a pas au même degré; aussi trouve-t-elle à se vendre en Angleterre plus avantageusement que l'autre; la différence actuelle de prix est de 6 ou 7 livres sterling la tonne.

Un *planck road* relie Wyoming à *Oil Springs*, où, comme le nom

(*) Extrait d'un rapport adressé, à la date du 15 novembre 1862, à M. le ministre des affaires étrangères.

l'Indique, sont concentrées les sources d'huile minérale. Cette route en planches n'est pas encore complétement achevée et déjà cependant elle est en mauvais état. Le pays au travers duquel elle se déroule est entièrement plat; les seules ondulations qu'on y remarque sont dues aux rivières qui se sont creusé des lits assez profonds. Toute la contrée est boisée. Los arbres sont magnifiques; les chênes notamment présentent des dimensions inusitées. C'était, il y a trente ans, une solitude que la hache de l'immigrant n'avait pas encore entamée. Les premiers essais de colonisation remontent à l'hiver de 1837; ces forêts étaient alors fréquentées par des tribus indiennes, appartenant à la famille Potawattannés et à celle des Chippawas; elles ne se résignèrent pas de suite à la perte de leurs terrains de chasse, et les blancs eurent d'abord à souffrir de leurs déprédations; mais ils leur durent aussi la découverte de l'huile minérale.

Ce fut un docteur indien, du nom de Wapoose, qui révéla l'existence du pétrole à John Rows, le premier Européen qui se soit établi sur les bords du *Black-Creek*. John Rows avait été frappé de l'odeur singulière qui s'exhalait du lit de la rivière, mais il en ignorait la cause, que Wapoose, qui connaissait l'huile minérale pour l'avoir employée au traitement des maladies de foie et des rhumatismes, lui expliqua. Le pétrole fut trouvé en différents endroits de la forêt; on le voyait sortir de terre en bouillonnant; il s'était accumulé dans les cavités du sol, où il formait des espèces d'étangs naturels. En hiver, l'huile s'ouvrait un passage à travers des couches de glace de plus d'un pied d'épaisseur, et ces efforts étaient accompagnés de bruits souterrains qui se faisaient entendre à une certaine distance.

Il s'écoula plusieurs années cependant avant qu'on sût la valeur du pétrole ou qu'on essayât de l'utiliser.

Je me suis appliqué, dans mon premier mémoire, à retracer l'origine et le développement des exploitations d'Enniskillen; il me paraît donc inutile de revenir sur ce sujet, et je me bornerai à parler de la situation actuelle des travaux. La petite ville d'*Oil-Springs* possède maintenant 1.500 habitants; elle n'existait pas il y a deux ans. Les hôtels y sont plus nombreux encore qu'à Wioming, l'activité plus grande, les signes de prospérité plus marqués.

La population d'Oil-Springs est fort mélangée; elle est essentiellement protestante et l'élément américain y domine. Les meilleurs terrains et la plupart des usines sont entre les mains de citoyens des États-Unis. Jusqu'à présent les capitaux engagés dans les exploitations sont presque tous venus de la république fédérale. Le commerce anglais commence cependant à ouvrir les yeux sur l'im-

portance des sources de pétrole d'Enniskillen; il s'est mis depuis quelques mois à faire concurrence aux spéculateurs américains pour l'achat ou la location des terrains minéraux. Ces emplacements ont donc beaucoup haussé de prix. On n'en trouve plus, pour ainsi dire, à acheter; il faut se contenter de les louer pour un terme de quatre-vingt-dix-neuf ans. Les conditions du bail, pour un demi-acre en superficie, sont à peu près les suivantes: une somme de 200 dollars, une fois payée, à titre de prime, et le tiers des produits à titre de rente annuelle. Si l'on voulait acquérir la propriété, le demi-acre se vendrait au moins 1.500 liv. sterl. La terre, dans ces mêmes localités, ne valait pas, en 1859, plus de 5 liv. sterl. l'acre. Aujourd'hui, dans la forêt vierge, entre Wioming et Oil-Springs, il n'y a peut-être pas un acre de terrain dont le prix de vente serait inférieur à 20 liv. sterl.

Quand le terrain est loué, on y installe les appareils nécessaires pour le forage d'un puits. Ces opérations se font habituellement par contrat à des conditions assez modérées. On estime par exemple à 5 ou 600 dollars la dépense qu'entraîne le percement d'un trou de sonde d'environ 200 pieds de profondeur. Un des puits les plus creux qui existent dans le district est, si je ne me trompe, celui de MM. J. Piéro et A. Grovier, d'où l'huile a jailli le 14 avril dernier. Le niveau auquel le pétrole a été rencontré se trouvait à 270 pieds au-dessous de la surface du sol; voici quelles étaient les couches de terrain qu'on a successivement pénétrées:

	Pieds.
Argiles ordinaires ou jaunes	15
Argiles bleues	26
Gravier noir	2

De la roche dure au fond du puits :

Calcaire bleu	14
Soapstone ou pierre de savon	66
Schiste noir	1
Soapstone	22
Calcaire noir	4
Soapstone	12
Calcaire noir	5
Soapstone	16
Schiste noir	13
Calcaire noir	16
Soapstone	28
Grès	15
	267

Lorsque l'huile a jailli pour la première fois de ce puits, la colonne liquide s'élevait à une hauteur d'une vingtaine de pieds au-

dessus de l'orifice, et elle coulait à raison d'au moins 5.000 barils (9.100 hectolitres) par jour. Pour arrêter ce débordement de pétrole, on a bouché le trou par lequel il s'effectuait au moyen d'un sac rempli de graines de lin, au travers duquel on a fait passer un tuyau de moindre diamètre que celui du puits: comme la graine de lin se gonfle beaucoup au contact de l'huile, elle forme une cloison hermétique. En fermant le second tuyau avec un nouveau sac dans lequel on introduit un troisième tuyau plus petit que le deuxième, et en répétant plusieurs fois cette opération, on finit par amener le pétrole dans un tuyau qui n'a plus qu'un pouce de diamètre, et l'on en contrôle alors l'écoulement au moyen d'un simple robinet. C'est un procédé d'une exécution facile, qui a parfaitement réussi et qui est maintenant employé sur toutes les exploitations. Avant qu'on y eut songé on perdait d'énormes quantités d'huile, sans pouvoir se rendre maître des masses fluides qui s'élançaient des puits. Autour d'Oil-Springs, la terre est partout imprégnée de pétrole, et la petite rivière qui traverse la ville justifie son nom de *Black-Creek* par un dépôt noir et visqueux sous lequel l'eau disparaît entièrement. L'odeur des émanations semble insupportable, je le répète: on s'y habitue vite cependant, et souvent même, si je dois ajouter foi à ce que m'ont dit des habitants d'Oil-Springs, on éprouve, au bout de peu de temps, un certain plaisir à la sentir. Il paraît que quelques personnes poussent le goût du pétrole jusqu'à le boire, comme elles feraient d'une eau minérale; elles prétendent que c'est un breuvage excellent pour les poitrines délicates. La faculté de médecine de Montréal leur donne un peu raison, car elle vient d'introduire le pétrole dans les salles des hôpitaux réservées aux patients dont les poumons sont en mauvais état.

L'huile minérale prend aisément feu. C'est là une source de danger constant pour la ville d'Oil-Springs; elle a été menacée plusieurs fois par les incendies, et, le 22 octobre dernier, elle a failli encore devenir la proie des flammes. Avec les matières combustibles dont le sol et la rivière sont couverts, il peut suffire d'une imprudence pour amener une conflagration générale.

Si les émanations du pétrole ne sont pas malsaines, ce qui est assez clairement prouvé, la contrée où se trouvent les sources est loin d'être salubre. Il y règne des fièvres redoutables, ce qui tient à ce que le sol est plat, marécageux, et à ce que les eaux n'ont pas d'écoulement. La décomposition des matières végétales, au sein de forêts que la hache du colon n'a que faiblement entamées, doit engendrer aussi des miasmes pernicieux. L'extrémité occidentale de la péninsule du Haut-Canada est du reste ravagée par les fièvres; la

ville de Samia, où aboutissent les deux plus grandes lignes de chemins de fer du Canada, le Grand-Trunk et le Great-Western, est à peine habitable à certaines époques de l'année.

Malgré ces inconvénients, Oil-Springs continuera à se développer rapidement, si les sources d'huile minérale auxquelles elle doit l'existence ne s'épuisent pas.

Quelle est l'étendue des réservoirs souterrains qui contiennent le pétrole? où s'approvisionnent-ils? Combien de temps doivent-ils rester pleins, et quand ils seront vides pourront-ils se remplir de nouveau?

Comme la prospérité du district d'Enniskillen dépend de la solution de ces questions, elles ont donné lieu à beaucoup de discussions, beaucoup de conjectures, et à des théories dont aucune n'est entièrement satisfaisante. Ce serait m'écarter de mon but que de passer en revue les hypothèses qui se sont produites, depuis plusieurs mois, au sujet de l'origine des huiles minérales, de la richesse et de la durée probable des sources. Quand j'ai été à Uyonning et à Oil-Springs, des puits en assez grand nombre, avaient cessé de rendre de l'huile; les uns étaient complétement taris, les autres ne donnaient plus que l'eau salée. Il y avait aussi des puits dont la production s'était considérablement ralentie. J'ai cru remarquer que tous ces puits étaient situés dans une même zone qui était d'ailleurs fort limitée, et qu'ils appartenaient en général à la catégorie des puits dits « de surface » dont l'avenir n'a jamais inspiré qu'une médiocre confiance. Plusieurs d'entre eux où l'eau salée avait remplacé le pétrole, ayant été approfondis, ont recommencé à fournir de l'huile minérale avec la même abondance qu'autrefois. D'autre part, les découvertes de puits à écoulement continu (*Flourings-wells* ou *Spouters*) se sont assez multipliés, depuis la date de mon premier rapport, pour compenser largement les pertes amenées par l'épuisement apparent de quelques-unes des sources. Depuis mon retour à Québec, en moins d'un mois, du 9 octobre au 6 novembre, trois nouveaux puis à écoulement ont été ouverts et dans le nombre celui de MM. Ball et Brennan, qui a 160 pieds de profondeur à partir de la roche dure, s'annonce sous des auspices aussi favorables que les fameux puits de MM. Shaw et Bradley. A l'heure même où j'écris, j'apprends que la veine de pétrole vient encore d'être rencontrée au fond de deux autres puits qui, sans être aussi riches que les précédents, produisent néanmoins une moyenne de 182 hectolitres par vingt quatre heures. Ce que l'on perd d'un côté, on paraît donc le regagner de l'autre. Les propriétaires de puits ne se montrent pas inquiets: ils

sont d'avis que l'huile minérale provient des réservoirs souterrains situés à une grande profondeur et que la sonde n'a probablement pas atteints. Cette huile a dû tendre, sous les énormes pressions auxquelles elle a été soumise, à s'infiltrer dans toutes les fentes ou crevasses des roches qui lui sont superposées; elle a formé ainsi une multitude de ramifications analogues aux branches d'un filon métallique et dans quelques cas elle a pénétré jusqu'à la surface du sol. Les cavités que le pétrole a remplies sont naturellement de dimensions variables; elles doivent s'épuiser plus ou moins vite, suivant leur étendue et leur distance des réservoirs d'où l'huile minérale est venue, une fois vidées, il est douteux qu'elles se remplissent de nouveau. Mais en approfondissant les puits qui deviennent stériles, on a de grandes chances de rencontrer des veines qui n'ont pas encore été entamées. Les forages exécutés autour d'Oil-Springs n'ont pas encore pénétré dans l'intérieur de la terre à une profondeur de 300 pieds. Ce ne sont en quelque sorte que des travaux superficiels. Les explorations sont à leur début. Un signe rassurant, c'est de voir les puits de deux cents et quelques pieds, comme ceux de M. Shaw et de M. Bradley, continuer à donner du pétrole en quantités aussi copieuses qu'au premier jour. Il convient de remarquer aussi que les localités où l'on a jusqu'à présent cherché l'huile minérale et où on l'a trouvée, sont extrêmement circonscrites. Les indications de pétrole ne sont cependant pas bornées aux environs d'Oil-Springs : j'ai déjà dit dans un premier mémoire, que l'huile minérale se montrait dans tout le Canada, du sud-ouest au nord-est, depuis Sarnia jusqu'à Gaspé, et c'est en effet ce qui a été confirmé par des découvertes récentes. Il est vrai qu'en Pennsylvanie et dans l'Ohio, les exploitants d'huile minérale prétendent que les sources s'appauvrissent, qu'elles s'épuisent même dans beaucoup de cas; mais on dit ici qu'il y a sous ces assertions une pensée de spéculation et qu'elles ont pour but de faire hausser le prix du pétrole, qui au printemps ne valait à New-York que 12 cents le gallon, et qui s'y vend maintenant 52 cents.

Une compagnie intitulée « Canadian Native Oil company » s'est récemment formée à Londres, au capital de 100,000 livres sterling, et a commencé ses opérations en envoyant au Canada un agent, chargé de visiter les sources d'huile minérale et d'étudier toutes les questions qui s'y rapportent. Il suffit de jeter les yeux sur ce qui se passe autour d'Oil-Springs pour demeurer convaincu de la vitalité des industries dont cette ville est devenue le centre. Ce ne sont de tous les côtés que scieries, raffineries, usines pour la fabrication

des barils. Ces établissements se multiplient avec une rapidité à laquelle on reconnaît le voisinage des États-Unis, et plusieurs d'entre eux sont déjà fort bien outillés : ils marchent tous à la vapeur. Dans ce nombre j'ai remarqué une manufacture montée par un américain du Michigan et capable de livrer à la consommation, chaque jour, 150 barils en chêne blanc d'une parfaite exécution; les barils se vendaient, lors de mon passage à Oil-Springs, $ 2 la pièce, mais ils doivent être tombés maintenant à & 1.80. Si la tonnellerie procure de beaux bénéfices, l'art du raffineur en donne de plus larges encore. A Pétrolia, entre Wyonning et Oil-Springs, MM. Adams retirent d'un baril de pétrole, 25 p. 100 d'huile blanche à brûler, 20 p. 100 d'huile à lubrifier et 15 p. 100 de térébenthine minérale qui, aux prix actuels, suffit pour payer toutes les dépenses de la fabrication; ils obtiennent donc, quoique la perte soit de 4 p. 100, un bénéfice considérable. M. Bush, d'Enniskillen, extrait 18 barils de produits raffinés de 25 1/2 de pétrole à savoir :

1° 2 1/2 barils de benzole
2° 12 1/2 id. d'huile blanche à brûler
3° 5 id. d'huile jaune.

Le benzole se vend en gros $ 2 12 le baril, l'huile blanche $ 8 et l'huile jaune $ 6. Quant au pétrole brut, l'extraction du puits revient seulement à 7 ou 8 cents le baril. Avec les déchets de la fabrication, M. Bush fait une sorte de combustible qu'il emploie pour les opérations du raffinage. De ces déchets il retire aussi une substance visqueuse qu'il mélange avec du benzole et qui appliquée sur la fonte ou le fer, les colore en noir. La partie solide des déchets peut être combinée avec de la térébenthine et transformée ainsi en un vernis noir qu'on dit de très-bonne qualité. Il y avait le 16 octobre dernier, dix-huit raffineries, dont quatorze en opération, installées autour d'Oil-Springs; celles de MM. Jarvis et Farren, Holmes et compagnie, et T. M. Mc Lean étaient les plus importantes. Les produits qui en sortent alimentent la consommation locale et commencent même à être expédiés en Angleterre où ils luttent contre les articles similaires exportés des États-Unis avec plus d'avantage que le pétrole brut du Canada ne le fait contre le pétrole brut de Pennsylvanie. De nombreuses raffineries se sont d'ailleurs élevées, depuis deux ans à Sarnia, à Mooretown, à London, à Woodstock, à Hamilton, à Sainte-Catherine et à Toranto : chaque jour il s'en fonde de nouvelles dans le Haut-Canada, et toutes semblent réussir. Le prix de la bonne huile à brûler tend en effet à monter constamment. Le gallon sur les lieux de production ne

vaut pas moins de 25 à 30 cents et quelques personnes pensent qu'il va doubler dans le cours de l'hiver. Ce mouvement de hausse est dû à la cherté comparative du pétrole sur le marché des États-Unis; les raffineurs du Haut-Canada trouvent à présent du profit à envoyer leurs marchandises à New-York, expérience qu'ils n'avaient pas encore osé tenter.

Les dernières nouvelles de Liverpool sont aussi très-favorables. On n'estime pas à moins d'un million de livres sterling la valeur des huiles américaines qui, en 1862, auront trouvé un placement en Europe. C'est un résultat qui peut paraître surprenant, quand on songe que ce commerce est dans l'enfance et que les premières expéditions de pétrole datent seulement de la fin de 1861. Le pétrole brut de Pennsylvanie, se vendait, le 18 octobre à Liverpool, 20 livres sterling la tonne, tandis qu'au mois de mai il n'en valait que 8, et l'huile minérale du Canada qui n'était même pas cotée, il y a sept ou huit mois, obtenait, en octobre, un prix de £ 13 par tonne. La différence de £ 7, entre les pétroles de Pennsylvanie et du Canada, est principalement due, ainsi que je l'ai dit précédemment, à la mauvaise odeur que répandent ces derniers, qui à d'autres égards, offrent un ensemble de qualités commerciales que les autres ne possèdent pas au même degré. Comme l'odeur disparaît dans le raffinage, et que les matières livrées par les usines du Canada soutiennent aisément la concurrence de celles fabriquées aux États-Unis, il y a un grand avantage pour la province à raffiner elle-même ses pétroles ; elle peut le faire aussi dans d'excellentes conditions, puisqu'il n'y a pas ici de loi qui mette d'entrave à l'établissement de manufactures de ce genre, que les terrains et le combustible y sont à bon marché, et que la main-d'œuvre n'y est pas plus chère qu'en Angleterre. Ce sont là les raisons qui ont donné à l'industrie du raffinage du pétrole l'élan que j'ai signalé. Les prix des huiles raffinées à Liverpool fluctuaient aux dernières dates, entre 2 st. 2 d. stg. et 2 st. 8 d. le gallon ; le benzole valait en moyenne 2 sh. 2 d. et les huiles à lubrifier se vendaient à raison de £ 12 à 15 la tonne, pour les espèces noire et verdâtre, et de £ 16 à 25 pour les qualités brune et jaune. Ces conditions sont regardées ici comme excellentes, et les propriétaires de raffineries cherchent presque tous en conséquence à élargir le cercle de leurs opérations.

Il y a un autre motif qui milite en faveur de l'établissement de raffineries au Canada, c'est la cherté des transports entre les lieux de production et de vente. Tant qu'il n'y aura pas un embranchement de chemins de fer de Wyonning à Oil-Springs, le roulage sur

le « plank-road » sera non-seulement onéreux mais encore incertain. En été, par exemple, un baril de pétrole pesant 158 kilogrammes peut être charrié pour 1 fr. 48 c., tandis qu'en automne et au printemps il faut payer quatre ou cinq fois cette somme; l'éditeur de la chronique d'Oil-Springs a récemment offert 8 fr. 05 c. pour le port d'un baril. Ces prix baisseront quand on aura relié, par des chemins en planches, comme on se propose de le faire incessamment, Oil-Springs à Sarnia d'une part et à Mooretown de l'autre. Sarnia et Mooretown sont situés sur la rivière Saint-Clair, à 25 et à 18 milles d'Oil-Springs. Le fret de Wyonning à Sarnia s'est maintenu pendant tout l'été à 1 fr. 48 c. par baril. Le prix de revient du baril de pétrole, prêt à être chargé à Sarnia, n'a donc pu, dans les meilleures circonstances, descendre au-dessous de 14 fr. 79 c.

	fr.
Prix du baril	2,00
Frais d'extraction de l'huile	0,07
Transport du puits à Wyonning	0,35
Dépenses à Wyonning	0,05
Fret de Wyonning à Sarnia	0,28
Frais divers à Sarnia	0,04

De Sarnia à Liverpool, on compte environ $ 5,20, ce qui comprend les frais de douane, d'entrepôt, de commission, etc., etc. On obtient ainsi un total de près de 42 fr. 80 pour le baril de pétrole de 182 litres rendu à Liverpool ou de 318 fr. pour la tonne de barils 13 hect. 65. Maintenant que la tonne se vend à Liverpool £ 13 ou $ 63,44, il y a un léger bénéfice pour les propriétaires d'Enniskillen, mais pendant l'été, quand le pétrole du Canada valait à peine £ 11, les exploitants étaient obligés de donner leur huile à des prix qui couvraient à peine les frais d'extraction.

La question des transports est une de celles que M. Holt, l'agent de la compagnie anglaise, dont j'ai déjà parlé, a étudiée avec le plus de soin. Actuellement l'avantage est du côté de la Pennsylvanie, dont l'huile peut arriver à Liverpool moyennant $ 7,77 le baril, en évaluant les frais d'extraction et le prix du baril au même chiffre que dans le district d'Enniskillen. Cette différence tient à ce que le frêt de New-York à Liverpool est de $ 2 seulement, tandis que de Sarnia à Liverpool il est estimé au double. Le Canada ouest est beaucoup mieux placé cependant pour l'écoulement des bitumes liquides que la Pennsylvanie, et je ne m'étonnerais pas de voir, l'année prochaine, quand la navigation des Lacs et du Saint-Laurent s'ouvrira de nouveau, le prix de revient du pétrole à Liverpool descendre à $ 7 et peut-être même à $ 6. Les chemins de fer

du Haut-Canada ont déjà baissé leurs taux, de manière à pouvoir faire concurrence au transport par eau, ils se comptent maintenant

de $ 1,25 de Wyoming à Montréal
1,37 id. à Québec
1,60 id. à Portland.

On annonce aussi que le matériel du « Grand Tronc » et du « Great-Western » va être complété par l'addition des wagons qui seront uniquement employés pour le pétrole. Si l'embranchement du « Great-Western » sur Oil-Springs était achevé, et que l'huile pût être charriée sans transbordement, dans de larges bassins en fonte, des sources au lieu d'embarquement, Montréal, Québec ou Portland, où elle serait versée, au moyen de siphons, dans de nouveaux réceptacles en métal, on éviterait la mise en barils, qui est une opération coûteuse, et l'on diminuerait, je présume, les chances d'incendie en mer.

On ne sait pas encore s'il y aura de l'avantage à effectuer directement les expéditions de la rivière Sainte-Claire à Liverpool, ou à profiter des facilités offertes par les chemins de fer pour n'opérer le chargement définitif qu'à Québec en été, à Portland en hiver, sur des bâtiments spéciaux (*Tank-Ships*) qui serviraient seulement à ce genre de transport. L'expérience en décidera. Pour le moment on se borne à faciliter les communications quelles qu'elles puissent être, entre les lieux de production et de vente, et à maintenir le prix des marchandises, qui pourrait s'avilir outre mesure, si l'action de la concurrence s'exerçait trop librement.

Au moment où j'écris, il doit y avoir autour d'Oil-Springs, 90 à 100 puits en opération. Quelques-uns ne donnent que 15 à 20 barils d'huile par vingt-quatre heures, d'autres en rendent jusqu'à 1,000. Les expéditions pour l'Europe ont commencé au mois de mai dernier, et elles ont pris de suite l'importance que je prévoyais.

Ce n'est pas aux marchés du Royaume-Uni seulement que s'est adressé ce mouvement d'exportation, il s'est étendu à l'Europe continentale, plusieurs cargaisons de pétrole d'Enniskillen ont été envoyées à Brême ; on devait aussi en diriger quelques-unes sur la Russie et, à titre d'essai, sur la France. Si les prix élevés qui ont cours maintenant sur les marchés anglais se soutiennent et que les sources d'Enniskillen ne s'épuisent pas, le commerce de bitume fluide dans le Haut-Canada prendra de nouveaux et très-grands développements en 1863.

J'ai indiqué, dans mon rapport du mois de mars dernier, les principaux usages auxquels pouvait servir le pétrole ; l'expérience

en révèle d'autres chaque jour, et elle tend à prouver en même temps que l'emploi de l'huile minérale, tout en exigeant des précautions, est loin d'offrir les dangers qu'on avait d'abord redoutés. Il n'y a pas encore eu, à bord des bâtiments chargés de pétrole, de cas d'incendie, et les compagnies d'assurances, qui, pour de semblables cargaisons, demandaient primitivement 9 et 10 p. 100, se contentent à présent de 2 ou 3 p. 100. Les explosions spontanées dans les raffineries sont extrêmement rares; elles sont malheureusement trop fréquentes dans les lampes usitées pour l'éclairage; mais il paraît que, dans beaucoup de cas, on pourrait les éviter avec un peu de soin; il suffirait d'essayer l'huile dont on veut se servir et de s'assurer qu'elle ne prend pas feu à une température inférieure à 120° Fahrenheit. En raffinant convenablement le pétrole d'Enniskillen, il serait facile de porter à 130° le point d'ignition de l'huile à brûler, et avec de l'habileté on pourrait même atteindre 150°. Si l'on en venait là, il n'y aurait plus d'explosion à craindre. L'opinion publique au Canada commence à se préoccuper de cette question: elle exigera bientôt que les huiles d'éclairage soient soumises à une inspection, comme d'autres matières le sont déjà. En Angleterre, le Parlement a dernièrement adopté une loi d'après laquelle l'huile à brûler ne peut être mise en vente si elle s'enflamme au-dessous de 100° Fahrenheit. La législature de l'Ohio, aux États-Unis avait passé antérieurement un « *bill* » analogue. Cent degrés peuvent être considérés comme un minimum au-dessous duquel il n'y aurait pas de sûreté; une limite de 120° offrirait des garanties plus complètes. Ce serait d'ailleurs l'intérêt des manufacturiers que de livrer au public des huiles non explosives; ils n'ont pas d'autre moyen de triompher de l'opposition que l'emploi du pétrole a d'abord soulevée en Angleterre et qui est soigneusement entretenue par les personnes qui exploitent des industries rivales. On représentait, il y a quelques mois, l'huile minérale d'Amérique comme une substance insalubre et essentiellement inflammable : le contraire a été prouvé, et l'usage du pétrole se généralise; pour qu'il devienne tout à fait populaire, on doit s'efforcer de le rendre inoffensif. Les grands bénéfices que font les raffineurs, leur imposent l'obligation de perfectionner constamment les produits qui sortent de leurs usines.

Je signalais, dans mon premier mémoire, l'application du pétrole à la fabrication du gaz d'éclairage. Depuis lors, j'ai vu les appareils construits pour cette exploitation et j'ai recueillis de la bouche même des inventeurs, des informations détaillées qu'un savant professeur de Toronto, M. Hinde, a bien voulu condenser dans une lettre.

On a parlé d'utiliser le pétrole pour la production de la vapeur, et l'on a même construit à Philadelphie un appareil qui a, m'assure-t-on, fonctionné avec succès. J'attendrai pour m'en occuper que de nouvelles expériences aient eu lieu. Si j'ai été bien renseigné, le but qu'on se proposerait surtout, serait d'économiser la place, et ce serait effectivement un grand service rendu à la marine marchande, parmi laquelle l'usage de la vapeur tend de plus en plus à se répandre.

ESSAIS

SUR LA FABRICATION DU GAZ D'ÉCLAIRAGE AU MOYEN DU PÉTROLE.

Par M. H. YOULE HINDE,

professeur de chimie et de géologie à l'université du Trinity College, à Toronto (*).

Je désirais être en possession de quelques faits concernant la fabrication sur une large échelle du gaz d'éclairage extrait de l'huile de pétrole, avant de satisfaire à la demande que vous m'avez adressée au sujet de la description détaillée d'un procédé pour lequel M. Thomson et moi avons pris patente au Canada, et pour lequel M. Thomson a été également breveté aux États-Unis. Les résultats des essais qui viennent d'avoir lieu à Homer et à Courtland, deux villes de l'État de New-York, sont particulièrement satisfaisants, et je me trouve maintenant en mesure de tenir la promesse que je vous ai donnée.

Deux dessins accompagnent ma lettre, l'un est celui de l'appareil breveté que nous employons pour la fabrication du gaz destiné aux édifices publics, aux hôtels et aux maisons particulières, l'autre est la représentation de l'appareil en usage pour l'éclairage des villages et des villes.

Le premier appareil consiste en un alambic en fer (A, Pl. IV, *fig.* 13) de forme hémisphérique, ayant 20 pouces de large à la partie supérieure, 17 pouces au fond et 17 pouces de profondeur. C'est l'alambic extérieur ou destiné à recevoir le pétrole. Il est enchâssé soit dans un fourneau de poêle en fer, comme celui représenté dans la figure 1, soit, ce qui est beaucoup préférable, dans une construction en brique. A l'hôtel Stevenson, à Sainte-Catherine, dont le propriétaire a fourni un certificat qui est ci-annexé, on fait usage du fourneau en fer. A l'hôtel Rossin, à Toronto, les alambics, au nombre de deux, sont fixés dans la maçonnerie et entretenus par

(*) Extrait d'une lettre adressée, le 22 octobre 1862, à M. Gauldrée-Boilleau, consul de France, au Canada.

le même feu. L'alambic intérieur (C, *fig.* 13) a 12 pieds de diamètre à la partie supérieure, 9 1/2 au fond et 12 pouces de profondeur. En communication avec l'alambic intérieur se trouve une chambre en fer, soudée à l'alambic, par laquelle de l'eau est introduite, au moyen d'un siphon, de manière à tomber sur un morceau de brique réfractaire qui présente une surface polie, placée au fond de la chambre sous un angle de 45°. Cette chambre s'ouvre dans la partie inférieure de l'alambic intérieur, laquelle est séparée par une grille de la portion supérieure du même alambic. La communication entre les alambics extérieur et intérieur s'effectue au moyen de petites arches semi-circulaires marquées *dd* sur la section, *fig.* 13; cette section est d'ailleurs faite de manière à couper et à montrer la chambre soudée à l'alambic intérieur et à travers laquelle l'eau arrive directement, de façon à tomber sur la pièce polie de brique réfractaire. L'alambic extérieur est attaché à l'intérieur par une garniture en plomb ou en métal fusible épaisse de deux pouces. Le dôme hémisphérique qui surmonte l'alambic intérieur est également fixé à cet alambic par une garniture en plomb de même épaisseur. Le tuyau d'écoulement (H, *fig.* 13) est attaché au dôme par un joint en mastic de fer. Quand on veut faire du gaz, la chambre supérieure de l'alambic intérieur (C, *fig.* 13) est remplie de coke jusqu'à une hauteur indiquée par la ligne ponctuée. Le pétrole est introduit au moyen du siphon ou des siphons à pétrole, et l'eau par le siphon à eau : on les laisse d'ailleurs couler continuellement. Le pétrole, en tombant sur le fer de l'alambic extérieur, qui est à une haute température, se convertit immédiatement, partie en gaz permanents et partie en vapeurs hydro-carbonées susceptibles d'être condensées. Ces gaz et ces vapeurs passent ensemble à travers les arches qui sont au fond de l'alambic intérieur, dans la chambre B (*fig.* 13), dont la capacité est d'environ 350 pouces cubes. En même temps que le pétrole est introduit dans l'appareil, l'eau est admise dans la chambre soudée à l'alambic intérieur et tombe en gouttes sur la brique réfractaire polie qui est chauffée au rouge; mais aussitôt que cette eau touche la brique, elle passe à l'état sphéroïdal et est projetée dans la chambre inférieure B (*fig* 13) de l'alambic intérieur, où elle rencontre les gaz permanents et les vapeurs hydrocarbonées provenant de la décomposition du pétrole. Si nous examinons les propriétés de l'eau dans un état sphéroïdal, nous trouvons que chaque globule est entouré d'une atmosphère de vapeur dont la température est presque égale à celle de la plaque sur laquelle l'eau est tombée, et qui, dans notre cas, est maintenue à une température aussi voisine que possible de la chaleur rouge.

Dans l'hypothèse même où cette température viendrait à diminuer et à tomber aussi bas que 400° Fahrenheit, les globules d'eau n'en seraient pas moins projetés, au milieu d'une atmosphère ayant la chaleur rouge, dans la chambre B (*fig.* 13), ou bien elles rouleraient sur la surface de fer, également portée à la chaleur rouge, qui forme à la fois le fond de l'alambic extérieur et celui de la chambre B. Les globules dont il s'agit fourniront continuellement de la vapeur d'eau possédant une température presque égale à celle des gaz et des vapeurs qui remplissent la chambre. Cette vapeur d'eau surchauffée venant en contact, à une température très-élevée, avec les vapeurs hydro-carbonées, les décomposera de manière à les transformer en gaz permanents, c'est-à-dire que de la formule générale C_nH_n, elle les ramènera à l'une des combinaisons C_2H_2 ou C_2H_4; s'il y a des vapeurs hydro-carbonées et de la vapeur d'eau qui échappent à cette décomposition, elles passeront en même temps que les gaz permanents à travers la grille et le coke chauffé au rouge qui la surmonte, pour s'échapper par le tuyau d'écoulement. Mais en traversant le coke chauffé au rouge, elles sont encore mises en contact avec de la vapeur d'eau surchauffée et décomposées ou réduites à la forme de gaz permanents. La vapeur d'eau qui n'a pas servi est aussi décomposée, par le coke chauffé au rouge, en hydrogène et en oxyde de carbone, l'acide carbonique qui viendrait à se produire étant réduit à l'état d'oxyde de carbone par l'action du coke. Par conséquent, la totalité du pétrole et de l'eau employés sont convertis en C_4H_4, C_2H_4, H et CO, avec un petit résidu de goudron.

Si l'écoulement du pétrole et de l'eau est réglé de manière à maintenir une chaleur rouge uniforme dans les alambics et la masse de coke, leur conversion en gaz permanents est donc assurée. Si au contraire les approvisionnements de pétrole et d'eau ne sont pas convenablement réglés, l'inspection du condenseur que le gaz traverse informera de suite le manipulateur de l'excès de pétrole ou d'eau qu'il pourrait y avoir; car s'il y a trop de pétrole admis par le siphon d'entrée, il se montrera dans le tuyau débouchant du condenseur; s'il y a trop d'eau, l'excédant sera mis en évidence aussi par le même indicateur.

Le condenseur est un vaisseau cylindrique en fer d'environ 3 pieds de hauteur sur 2 de diamètre, contenant un serpentin en fer au travers duquel coule constamment un courant d'eau froide allant de Q à R (*fig.* 2). Les gaz passent ensuite à la boîte de lavage (E, *fig.* 14) et circulent à travers de l'eau sans cesse renouvelée. Les gaz s'y refroidissent encore plus et laissent un léger dépôt de goudron. De la boîte

de lavage, les gaz se rendent dans le cylindre hydraulique, traversent encore deux alambics ou un plus grand nombre, puis des intervalles où ils sont purifiés au moyen de la chaux, et arrivent enfin au gazomètre, où ils sont prêts pour la distribution. Les impuretés, telles qu'hydrogène sulfuré, acide carbonique, sulfite d'ammoniac et bisulfite de carbone, communes à tous les gaz provenant de la destruction par voie de distillation d'hydrocarbures d'origine végétale ou animale, sont éliminées par la chaux ou par un procédé qui sera décrit et expliqué plus tard.

Pour un appareil comme celui qui vient d'être décrit, les résultats suivants ont été obtenus, ainsi que le constate un registre tenu par le propriétaire de l'hôtel Stevenson, à Sainte-Catherine (Canada-Ouest), dont l'établissement est éclairé avec du gaz de pétrole fabriqué par la méthode patentée.

Fabrication et prix de revient du gaz de pétrole à l'hôtel Stevenson, Sainte-Catherine, Canada (ouest), d'après un registre tenu chaque jour par le propriétaire.

Nombre d'alambics	Un vertical.
Moyenne de la production journalière du gaz	290 pieds cubes.
Gallons de pétrole consommés	3 g. 135
Temps requis pour la fabrication du gaz	2 h. 10 minutes.
Quantité de coke employée comme combustible	1 boisseau 72
Huile de rebut, avec un peu de goudron, capable de servir encore	1 quart. 611
Dépense journalière occasionnée par le pétrole, à 0,06 le gallon.	0,18 81/100
Id. *id.* par le coke, à 0,05 c. le boisseau.	0,08 06/100
Période de temps durant laquelle les expériences ont été prolongées	18 jours.
Nombre de becs de gaz en usage	180
Total du prix de revient par jour du pétrole et du combustible.	0,27 41/100

Ces 0,27 41/100 représentent les matières brutes employées.

Les expériences ont eu lieu du 10 au 27 septembre 1862. Pendant les mois d'hiver, la consommation journalière du gaz sera plus grande, ce qui impliquera une augmentation correspondante dans la quantité de matières brutes consommée.

Les résultats qui précèdent ne nous indiquent point tous les avantages que présenterait le pétrole pour la fabrication du gaz d'éclairage; l'appareil employé a été effectivement enchâssé, pour des raisons économiques, dans un simple poêle en fer, au lieu d'être placé dans de la maçonnerie; la quantité de gaz qu'on obtient lorsque l'appareil est construit différemment sera indiquée plus loin. Les expériences faites à Sainte-Catherine servent toutefois à

montrer que, même avec des appareils fort imparfaits, le procédé est remarquable par son économie. Avec un simple poêle, la production moyenne de gaz par heure est de 125 pieds cubes; avec une maçonnerie elle est beaucoup plus grande. Il convient d'ailleurs d'observer que, si l'on a égard au pouvoir éclairant, 125 pieds de gaz de pétrole en représentent 375 de gaz de houille de bonne qualité, ou 500 de l'espèce de gaz dont on se sert généralement au Canada et aux États-Unis.

Je passe maintenant à la description de l'alambic horizontal et des résultats qu'il a fournis. Les *fig.* 18 et 19 représentent en un plan et une section de l'alambic. Il est fait en fonte, et nous nous proposons d'en construire en argile. Les dimensions sont comme suit : longueur 7 1/2 pieds; largeur 16 pouces, hauteur 12 pouces; c'est l'alambic appelé communément l'alambic en forme de D. Six pieds de l'alambic sont sur le feu. On met deux de ces alambics sous une voûte, exactement comme ceux employés pour la fabrication du gaz ordinaire.

A ces alambics sont soudés deux tubes perpendiculaires, indiqués dans la section (*fig.* 18), et qui servent l'un à l'introduction de l'eau, l'autre à celle du pétrole. Ils sont divisés en trois chambres, la chambre du pétrole, celle de l'eau et celle du coke. Les tubes perpendiculaires sont assez longs pour que le couronnement de la voûte sous laquelle ils sont placés soit construit de manière à les entourer, afin de prévenir l'échappement des gaz par les jointures à l'endroit où débouche le tuyau qui sert à l'approvisionnement du pétrole.

Le fond des cornues (il y en a deux) étant chauffé à la manière habituelle, le pétrole est amené par un tuyau et un siphon, d'un réservoir placé à une distance suffisante pour qu'il n'y ait pas de danger, et on le laisse tomber en un mince filet sur un plan incliné de briques refractaires qui est représenté fig. 6. Ce pétrole se décompose dans la chambre et donne des gaz permanents ainsi que des vapeurs hydro-carbonées.

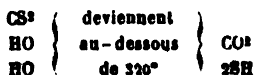
En même temps de l'eau est introduite par le tuyau à eau et tombe sur des briques à refractaires polies qui sont disposées angulairement, comme A (*fig.* 18 et 19) le fait voir, et inclinées de façon à rejeter l'eau des deux côtés, aussitôt qu'elle frappe le sommet. L'eau passe à l'état sphéroïdal quand elle touche la brique refractaire et qu'elle est rejetée sur la surface chauffée de l'alambic. La décomposition des vapeurs hydro-carbonées s'accomplit comme nous l'avons déjà dit plus haut. Les gaz permanents qui en résultent, ainsi que de la vapeur d'eau à une haute température et des

vapeurs hydro-carbonées, passent ensemble à travers la grille et une masse de coke chauffée au rouge qui occupe la portion restante de l'alambic. On emploie une grille pour empêcher le coke de tomber dans la direction de la bouche de l'alambic. Les vapeurs hydro-carbonées et la vapeur d'eau qui avaient échappé à une première décomposition, sont converties en gaz hydro-carbonés permanents, en oxyde de carbone, en hydrogène et en acide carbonique. La plus grande partie de l'acide carbonique est d'ailleurs réduite, avant d'atteindre le tuyau d'écoulement, à l'état d'oxyde de carbone par son passage à travers le coke porté à la température rouge.

La porte de l'alambic est exactement semblable à celle des appareils en usage pour la fabrication du gaz extrait de la houille; il en est de même de la voûte sous laquelle sont placés les alambics qui peuvent être substitués aux cornues ordinaires sans beaucoup de changement et de dépenses.

Les gaz permanents, ainsi que les vapeurs hydro-carbonées et la vapeur d'eau non décomposées se rendent aux condenseurs où s'effectuent des dépôts abondants, si l'approvisionnement par les tuyaux à eau et à pétrole est en excès par rapport au pouvoir décomposant de la surface des alambics. Si au contraire l'approvisionnement est convenablement réglé, la condensation est très-petite et les résidus ne consistent pour ainsi dire qu'en goudron. C'est également du goudron qui se dépose dans l'appareil de lavage décrit précédemment, de même que dans le cylindre hydraulique. Les différentes parties de l'appareil, à savoir l'alambic, les condenseurs, les boites de lavage et les purifications sont reliées les unes aux autres au moyen de joints imperméables de 16 à 18 pouces de profondeur. Après que les gaz ont traversé des purificateurs contenant de la chaux vive destinés à absorber l'acide carbonique et l'hydrogène sulfuré qui n'auraient pas été décomposés, ils passent au gazomètre et sont prêts à être distribués. Le bisulfate de carbone, dont la présence dans le gaz extrait de la houille est si pernicieuse, n'existe qu'en petite quantité dans le gaz extrait du pétrole et on l'élimine comme suit.

Le bisulfate de carbone, quand il est chauffé avec de l'eau, à 320° ou à une température supérieure, est converti en acide carbonique et en hydrogène sulfuré ; ainsi



$$\left.\begin{array}{l} CS^2 \\ HO \\ HO \end{array}\right\} \begin{array}{c}\text{deviennent} \\ \text{au-dessous} \\ \text{de } 320^\circ\end{array} \left\{\begin{array}{l} CO^2 \\ 2SH \end{array}\right.$$

Dans les chambres des alambics verticaux ou horizontaux la vapeur du bisulfate de carbone est soumise à l'action de la vapeur d'eau à une température beaucoup plus élevée que 320° et aussi à l'action de l'hydrogène dans son passage à travers le coke, influences sous lesquelles il est converti en protosulfate de carbone. Mais le protosulfate de carbone est soluble dans son propre volume d'eau ; il s'ensuit donc que le gaz, en traversant les boites de lavage, se dépouille du protosulfate de carbone qui pourrait le souiller. Le bisulfate de carbone peut aussi être complétement chassé en faisant passer les gaz à travers un vaisseau à fond plat, hermétiquement fermé, contenant une solution de potasse caustique dans de l'esprit d'huile (fusel oil) et muni d'un grand nombre de mèches en coton trempant légèrement dans l'huile, de manière à présenter aux gaz une large surface. Il conviendrait d'employer cet appareil pour enlever les dernières traces de bisulfate de carbone des gaz destinés à l'éclairage des galeries de peintures et des bibliothèques, où la production des matières sulfureuses résultant de la combustion de la vapeur du bisulfate de carbone a de très-fâcheux effets. Mais le pétrole ne contient, comparativement à la houille, qu'une fraction très-minime de soufre, de sorte qu'il n'est pas probable qu'on doive jamais recourir à l'expédient que je viens d'indiquer. Pour la même raison, la quantité de chaux nécessaire pour purifier le gaz de pétrole est moindre que celle requise pour le gaz extrait de la houille.

Voici d'ailleurs les résultats qui ont été obtenus à Homer et à Courtland, dans l'état de New-York.

Les cornues, au nombre de deux, ayant les dimensions déjà données, et construites conformément aux modèles ci-joints, furent placées sous une vieille voûte qui avait servi pour la fabrication du gaz ordinaire, et fixées comme d'habitude.

Première expérience. — 9 octobre 1862.

Quantité de gaz produite par heure dans chaque cornue.	450	pieds cubes.
Production totale de gaz.	3.380	*id.*
Pétrole consommé.	38	gallons.
Quantité de pétrole par 1.000 pieds de gaz.	11 1/2	*id.*
Pétrole perdu par 1.000 pieds.	1 1/2	*id.*
Quantité réelle de pétrole employé pour la fabrication du gaz.	9 11/12	*id.*

Deuxième expérience. — 17 octobre 1862.

Quantité de gaz produite dans la première heure	1.080	pieds cubes.
Id. par chaque cornue.	540	*id.*
Id. dans la deuxième heure moins 10 minutes.	820	*id.*
Id. dans la deuxième heure..	940	*id.*

Production moyenne par heure pour chaque cornue.......	505	*id.*
Pétrole consommé.........................	12 1/4	gallons.
Pétrole perdu, mais pouvant encore servir............	1 1/4	*id.*
Quantité réelle de pétrole employé par 1.000 pieds.......	10	*id.*

505 pieds cubes de ce gaz de pétrole sont équivalents à 1.515 de gaz extrait de la houille.

En comparant la quantité de gaz provenant du pétrole avec le gaz extrait de la houille, on constate les résultats qui suivent :

Une charge de 150 livres de houille placée dans une cornue servant à la fabrication du gaz de houille, demande cinq heures avant de donner tout son gaz et rend 625 pieds cubes de gaz d'éclairage ordinaire, tandis qu'en employant le pétrole, une cornue horizontale produit dans une heure 505 pieds cubes qui équivalent, au moins, à 1.515 pieds cubes de l'autre gaz. La fabrication au moyen de pétrole rendra donc en cinq heures 2.525 pieds cubes d'un gaz égal à 7.575 pieds cubes de gaz ordinaire ; il n'y aurait eu dans le même temps que 625 pieds cubes de gaz extrait du charbon, ce qui montre, en faveur du pétrole, pour la rapidité de la production, un avantage de 12 à 1.

Je n'ai pas de doute qu'en employant des cornues horizontales de petite dimension, placées sous des voûtes en maçonnerie, nous produirons du gaz beaucoup plus rapidement et plus économiquement qu'avec des cornues verticales. Maintenant d'ailleurs on construit des cornues horizontales qui vont être bientôt essayées. En employant de l'eau bouillante, on économisera aussi la chaleur dans les alambics. Il y a encore d'autres améliorations en voie de s'accomplir. Je puis ajouter que j'ai construit un fourneau à gaz au moyen duquel une chambre peut être économiquement chauffée et que j'ai exécuté également des fourneaux de cuisine dans lesquels on fait usage du gaz de pétrole.

RÉSULTATS

DES ESSAIS D'ÉCLAIRAGE PAR LE PÉTROLE, D'APRÈS UNE LETTRE ADRESSÉE PAR M. GAULDRÉE-BOILEAU A M. LE MINISTRE DES AFFAIRES ÉTRANGÈRES.

L'hôtel Saint-Nicolas, qui est le plus vaste de New-York, vient d'être entièrement éclairé au gaz de pétrole, au moyen de l'appareil de MM. Hinde et Thomson, dont on vient de voir la description et les dessins. Cet hôtel consommait en moyenne, par vingt-quatre heures, 36.000 pieds cubes de gaz de houille, qui était fourni par la Compagnie Manhattanet. Une semaine d'expérience avec le gaz de pétrole a montré qu'avec de l'huile minérale, les propriétaires de l'hôtel réaliseraient une économie de plus de 50 p. 100. On a comparé aussi le pouvoir éclairant du gaz de pétrole employé à l'hôtel Saint-Nicolas avec celui des bougies en cire, et l'on a trouvé qu'un seul bec de gaz donnait autant de lueur que 27 bougies et demie. MM. Hinde et Thomson se flattent de porter bientôt le pouvoir éclairant de leur gaz à 36 bougies, et le meilleur gaz extrait de la houille ne représente pas plus de 16 bougies.

NOTE

SUR UN FOYER FUMIVORE ÉTABLI A ARLEN (DUCHÉ DE BADE).

Par M. TENBRINCK.

(Extrait d'une lettre adressée au secrétaire de la Commission des *Annales des mines.*)

..... Voici le croquis (Pl. IV, *fig.* 25) des foyers que j'ai fait modifier ainsi que je vous l'ai dit. Le mur de l'autel ferme complétement tout autour de la chaudière, les gaz enflammés reviennent vers l'avant, où l'injection d'air arrive, puis ils montent et passent dans le gros tube bouilleur.

Cette disposition réalise d'une manière simple les conditions de mes foyers inclinés. Avant chaque charge de combustible, le chauffeur repousse vers le fond toute la masse carbonisée et dépose le charbon frais sur la plaque porte-barreaux. Si le chauffeur opère à peu près bien, la production de fumée est nulle avec les charbons de Reden et de Louisenthal que vous connaissez. La marche des foyers et la production de vapeur ont été améliorées par cette disposition d'une manière très-sensible.

Il est clair qu'on pourrait modifier ainsi des foyers de chaudières à bouilleurs. L'agencement seulement serait différent.

NOTICE SUR M. DUFRÉNOY,

INSPECTEUR GÉNÉRAL DES MINES.

Par M. DE BILLY, inspecteur général des mines.

La rédaction de cette notice m'a été confiée par S. Ex. le ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, à la date du 5 mars 1863; cette mission de parler d'un savant d'ordre aussi élevé que l'était M. Dufrénoy, revenait à de plus qualifiés que moi, et je ne me trouve à cette distinction que deux titres :

Une précieuse intimité qui, commencée en 1822 à l'école des mines, où j'étais alors élève et lui déjà mon supérieur, n'a fini qu'avec sa vie ;

Ma collaboration aux travaux de la carte géologique, de 1826 à 1829, quatre années durant lesquelles, faisant presque toujours vie commune avec mon savant ami, j'étais appelé à partager les difficultés, les fatigues passagères, mais aussi les joies durables de cet important travail.

Au moment de prendre la plume, je me sens encore embarrassé par un autre motif, c'est que tout a été dit sur M. Dufrénoy. Au jour de ses funérailles, nous avons entendu les voix éloquentes de M. de Senarmont, au nom de l'École impériale des mines; de M. Flourens, au nom de l'Académie des sciences; de M. Valenciennes, au nom du Muséum d'histoire naturelle; de M. Élie de Beaumont au nom du corps des mines; de M. Damour, au nom de la société géologique de France, exposer tout ce qu'avait été Dufrénoy, comme savant, comme ingénieur, comme admi-

nistrateur, comme ami dans la vie publique et dans la vie privée ; de plus, en ce jour de douloureuse mémoire, les accents de la respectueuse et reconnaissante affection des élèves de l'École des mines et de ceux des ponts et chaussées, n'ont pas fait défaut à l'illustre défunt.

Environ trois ans plus tard, M. le vicomte d'Archiac, membre de l'Académie des sciences, réunissant à la substance de tous ces discours les renseignements fort étendus que la famille avait mis à sa disposition, lut à la société géologique de France, dans sa séance du 21 mai 1860, une notice des plus complètes sur la vie et les travaux de P. A. Dufrénoy. De telle sorte qu'aujourd'hui je ne puis que reproduire ce qui a été dit avant moi et dit beaucoup mieux certainement que je ne pourrai le faire.

Quoi qu'il en soit de toutes ces difficultés, je ne déclinerai pas la tâche qui m'est échue, car les *Annales des mines* sembleraient incomplètes si elles ne renfermaient pas une notice sur la vie et les travaux de l'un des membres les plus éminents du corps impérial des mines.

Le père de M. Dufrénoy, M. Petit-Dufrénoy, était procureur au Châtelet; honoré de la confiance de plusieurs familles illustres, il se faisait remarquer par ses lumières et sa probité. Voltaire qui, dans les dernières années de sa vie, l'avait chargé d'affaires difficiles, en parle avec éloge dans des lettres inédites encore conservées ; homme d'esprit, aimant la littérature et les hommes lettrés, il tenait un rang distingué dans la société.

Agé de plus de quarante ans, il épousa mademoiselle Adelaïde Gillette Billet, qui en avait à peine quinze.

Quand l'orage révolutionnaire éclata sur la France M. Petit-Dufrénoy se retira dans une propriété de famille à Sevran près Paris.

Au 5 septembre 1792, la paisible retraite de Sevran offrait le plus frappant contraste avec Paris; tandis que la furie de nos discordes s'agitait sanglante devant les prisons,

épouvantait tous les cœurs honnêtes de la capitale, l'ancien procureur au Châtelet voyait naître son fils Ours-Pierre-Armand Dufrénoy et recueillait sous son toit d'intéressants proscrits échappés aux massacres, tels que M. de Fontanes et le vénérable abbé Sicard.

Sevran dut abriter plus tard Camille Jordan, de Gérando, Félix Faulcon, qui surent reconnaître jusqu'à la fin de leurs jours, par une constante affection, le courageux dévouement d'hôtes qui n'avaient pas craint d'exposer leur vie pour sauver celle de leurs amis.

M. Petit-Dufrénoy recevait familièrement La Harpe, Rochon de Chabannes, Champfort, André Murville et un cousin germain de sa femme, M. Laya, depuis membre de l'Académie française. C'est au milieu de cette société d'hommes distingués que madame Dufrénoy puisa des goûts littéraires et qu'avec l'assistance de M. Laya, elle continua l'étude des langues anciennes commencée sous le toit paternel; ainsi se développa le génie poétique dont les charmants vers de madame Dufrénoy portent l'empreinte, ces vers que nous avons tous lus dans notre jeunesse, qui furent célébrés par Béranger, qui valurent à leur auteur les palmes de l'Académie des jeux floraux, de celle de Cambrai, et, plus tard même, une couronne de l'Académie française pour la manière dont ils ont retracé les derniers moments de Bayard.

Au sortir de la révolution, M. Petit-Dufrénoy était ruiné; à la perte de sa fortune s'ajouta bientôt la perte de la vue, et, dès ce moment, madame Dufrénoy dut se consacrer entièrement à son époux; elle le fit avec le plus grand dévouement, avec la plus grande abnégation d'elle-même, puisqu'elle en fut réduite pendant quelque temps à soutenir sa famille avec le produit des expéditions qu'elle passait souvent la nuit à copier pour les avoués et les hommes d'affaires.

Les malheurs de sa famille, la courageuse résignation de son père, le dévouement de sa mère, frappèrent dès ses

premières années le jeune Armand Dufrénoy et développèrent en lui une bien précoce maturité d'esprit.

Agé de onze ans à peine, il entra, dès 1803, au lycée de Rouen, où il rencontra comme camarade le jeune Valenciennes, que, plus tard, il retrouva, par suite d'une communauté de goûts pour l'étude des sciences naturelles, comme collègue au muséum d'histoire naturelle et comme confrère à l'Académie des sciences.

Dufrénoy acheva ses études classiques à Paris au Lycée impérial, depuis Louis-le-Grand; il y commença celle des mathématiques qui lui valut le premier prix dans cette faculté au grand concours de 1810.

Ici encore, il contracta des liaisons qui durèrent autant que la vie; de ce nombre fut celle avec M. Legrand destiné à devenir, en 1832, directeur général des Ponts et chaussées et des Mines.

J'insiste avec intention sur le don qu'avait Dufrénoy de conserver ses amitiés d'enfance et de jeunesse; c'est un trait de son caractère trop saillant pour être passé sous silence.

Dès 1811, âgé de dix-neuf ans, il était à l'École Polytechnique, et, après de très-fortes études, il en sortit en 1813 dans les premiers rangs, pour commencer sa carrière d'ingénieur à l'École des Mines placée alors à Moutiers en Savoie.

Mais les événements politiques de 1815 qui séparèrent ce pays de la France, ramenèrent les élèves des mines à Paris où fut rétablie, par ordonnance du 5 décembre 1816, l'École des mines autrefois instituée par un arrêt du conseil du 19 mars 1783.

Dufrénoy se plaisait à citer le temps passé en Savoie au nombre des plus heureux de sa vie et à raconter son voyage pédestre de Moutiers à Paris en compagnie de ses camarades MM. Juncker et Lambert, avec toutes ses péripéties, avec tous les tours ingénieux qu'ils durent prendre, d'abord

en pays devenu ennemi, ensuite pour traverser les armées qui avaient envahi le sol de la France, enfin, pour subvenir pendant treize jours à la dépense commune, avec une somme totale de 106 fr.; problème assez difficile, mais qui fut résolu avec une telle précision qu'en arrivant à Paris les trois voyageurs possédaient encore tout juste le prix d'une course de voiture pour se faire conduire dans leurs familles.

En 1819, Dufrénoy était à peine aspirant (*), lorsqu'un « digne appréciateur des jeunes talents, M. Brochant de Villiers, l'appela à l'école naissante des mines (**).

La même année il avait épousé mademoiselle Caroline Jay; « le choix heureux de sa compagne, dit M. Flourens (***), « le rendit le fils d'un homme qui, grâce à la rare fermeté « de son caractère et à la lucidité de son esprit, a marqué « dans nos académies, dans nos assemblés législatives, « dans la littérature, dans la politique, dans la presse, et « qui partout a obtenu l'autorité que donne une raison « supérieure. »

Madame Armand Dufrénoy ajoutait ainsi par son nom, comme par son talent, à la valeur littéraire de sa nouvelle famille; en maintes circonstances, elle prit une part active aux travaux de son mari; « la fille, l'élève de M. Jay, » ajoute M. Flourens, « digne compagne d'un homme « d'étude, sut, par son dévouement, rendre facile et doux « pour notre confrère, ce trajet si court, si accidenté que « nous nommons la vie..... »

J'aurai à suivre Dufrénoy dans cette notice comme ingénieur, dans ses avancements de grade et dans les travaux qu'il a produits pour la recherche et l'exploitation des mines, pour la métallurgie, dans ses rapports au conseil général des mines, sans omettre le concours qu'il a prêté aux expositions

(*) Le grade d'aspirant a été remplacé par celui d'ingénieur de 3e classe.

(**) De Senarmont. Discours prononcé le 22 mai 1857.

(***) Flourens. Discours prononcé le 22 mai 1857.

de l'industrie; j'aurai à le suivre aussi comme savant dans ses travaux sur la géologie et la minéralogie; j'aurai à parler de lui comme professeur à l'École des mines, à l'École des ponts et chaussées et au Muséum d'histoire naturelle; j'aurai enfin à rendre hommage à son talent comme administrateur et comme créateur de l'École des mines actuelle.

Que ne puis-je me laisser aller à la tentation de publier en entier les nombreuses lettres que l'on a conservées de lui, ce serait assurément le meilleur moyen de le faire connaître aux lecteurs de cette notice par les divers côtés de son esprit, par son caractère et par le charme qu'il savait mettre dans les relations de l'amitié.

Sa carrière d'ingénieur. — Les cinq années que Dufrénoy passa comme élève des mines lui parurent fort longues, elles avaient été cependant variées par trois missions d'étude; la première (1816) aux mines de Poullaouen (Finistère), avec M. Juncker; la seconde dans les Ardennes (1817), sous la direction de M. l'ingénieur en chef Clère, et la troisième (1818), encore avec M. Juncker, alors aspirant, ayant pour but l'exploration de la côte de Piriac (Loire-Inférieure), où, par des travaux de recherche et des essais, on devait constater l'existence d'un gîte de minerai d'étain. Cette mission a été le sujet du premier mémoire inséré par Dufrénoy dans les *Annales des mines* (*); il avait été rédigé en commun avec M. Juncker.

Nommé aspirant en 1818, il fut, l'année suivante, chargé du service d'un sous-arrondissement composé des trois départements de Seine-et-Marne, Eure-et-Loir et du Loiret; peu de mois après, il fut adjoint à l'inspecteur des études de l'École des mines pour la conservation des collections, des livres, cartes et plans de cette école.

Tel était l'ensemble de son service quand il fut, le 1er juin 1821, nommé ingénieur ordinaire de seconde classe.

(*) Première série, tome IV.

L'exécution d'une carte géologique de la France, mise en discussion depuis plusieurs années, fut définitivement résolue vers cette époque; en 1823, MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont, ayant été, sous la direction de M. Brochant de Villiers, envoyés en Angleterre, afin d'y étudier les formations géologiques, étude dont on devait appliquer les résultats à celle des terrains français, les deux jeunes ingénieurs en rapportèrent de précieux documents sur les mines et sur la métallurgie de ce pays. Ces documents ont servi à la rédaction de nombreux mémoires qui, de 1824 à 1827, parurent dans les *Annales des mines*, et parmi lesquels nous citerons les suivants :

Notice sur le gisement, l'exploitation et le traitement des minerais d'étain et de cuivre du Cornouailles (*).

Gisement des minerais de zinc en Angleterre (**).

Traitement du minerai de cuivre dans le sud du pays de Galles (**).

Expériences pour condenser les vapeurs qui se dégagent des usines à cuivre (**).

Préparation mécanique et traitement métallurgique des minerais de plomb, dans le Derbyshire (***).

Fabrication de la fonte et du fer en Angleterre, précédée d'un aperçu sur les différents dépôts houillers de ce pays (****).

Ces différents mémoires, rédigés la plupart en commun avec M. Élie de Beaumont, ont été réunis et publiés, en 1827, sous le titre de *Voyage métallurgique en Angleterre;* travail remarquable donnant sur la situation des mines et de la métallurgie en Angleterre, à cette époque, une idée tellement précise que le major général Portlock, président de la société géologique de Londres, n'hésita pas à décla-

(*) Première série, tomes IX, X et XI.
(**) Première série, tome XI.
(***) Première série, tome XII.
(****) Deuxième série, tomes I et II.

rer, dans un discours prononcé le 19 février 1859, qu'on ne possédait pas encore en Angleterre un travail aussi complet sur sa richesse minérale et sur les établissements industriels qui s'y rapportent.

C'est peu de temps après son retour d'Angleterre que Dufrénoy fut consulté par M. le duc Decazes qui honorait l'éminent ingénieur d'une confiante amitié et qui présidait alors à la constitution d'une association industrielle sous la dénomination de *Société des houillères et fonderies de l'Aveyron*. Le travail à la fois précis et substantiel qu'il rédigea à cette occasion sur l'application des procédés métallurgiques anglais aux richesses minérales du bassin de Decazeville, eut une influence décisive sur la création des nouvelles usines ; Dufrénoy pouvait donc revendiquer une bonne part dans l'introduction en France des méthodes actuelles de la fabrication du fer.

Il fut, en 1831, nommé chevalier de la Légion d'honneur.

Lorsque vers 1832 on entendit parler des essais pratiqués en Allemagne et en Angleterre pour le soufflage des hauts-fourneaux à l'air chaud, l'administration chargea M. l'ingénieur en chef Voltz d'étudier les nouveaux procédés dans la première de ces contrées ; M. Dufrénoy reçut une mission semblable pour l'Angleterre et l'Écosse ; le résultat de ses observations est consigné dans un mémoire inséré dans les *Annales des mines*, sous le titre : *Rapport à M. le Directeur général sur l'emploi de l'air chaud dans les usines à fer de l'Écosse et de l'Angleterre* (*), travail qui fit connaître à l'industrie française les divers appareils employés dans la Grande-Bretagne pour le chauffage du vent, les procédés suivis et les avantages qu'alors déjà on en retirait, travail important qui reçut une juste récompense par la promotion de son auteur au grade d'ingénieur en chef.

(*) Troisième série, tome IV (1833).

J'indique en passant et pour donner une idée de la variété des sujets traités par Dufrénoy, un autre mémoire inséré dans les *Annales des mines*, intitulé : *Note sur la cémentation du fer au moyen de l'hydrogène carboné* (*).

Il convient encore de citer ici plusieurs travaux qui, bien que reproduits par les comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences, rentrent dans le domaine de l'art des mines et de la métallurgie et appartiennent à celui de l'ingénieur; ce sont les appréciations de deux mémoires de M. Domeyko, l'un sur les minerais d'argent du Chili et les procédés employés pour leur traitement, l'autre sur les mines d'amalgame natif (**).

Enfin, son rapport sur deux mémoires de M. A. Burat, intitulés :

Études sur les terrains et sur les gîtes métallifères de la Toscane;

Études sur les gîtes métallifères de l'Allemagne (***).

Finalement un travail original intitulé : *Étude comparative des sables aurifères de la Californie, de la Nouvelle-Grenade et de l'Oural* (****).

Sur ces entrefaites, Dufrénoy, élevé en 1839 à la première classe d'ingénieur en chef, avait reçu la croix d'officier de la Légion d'honneur en 1841.

Les travaux de tout genre et notamment ceux dont nous venons de rendre compte avaient donné à Dufrénoy une position exceptionnelle dans son corps, aussi dès le 21 avril 1846 fut-il appelé au conseil général des mines comme inspecteur général adjoint; investi d'abord de l'ancienne division de l'Est, il reçut dans les premiers mois de 1848 celle du Nord renfermant neuf départements, depuis et compris

(*) Troisième série, 1834, tome V.
(**) *Comptes rendus*, 1842, tome XIV.
(***) *Comptes rendus*, 1845, tome XX.
(****) *Comptes rendus*, 1849, tome XXIX.

celui du Loiret jusqu'aux frontières nord et nord-ouest de la France, retrouvant ainsi plusieurs des départements dans le service desquels il avait débuté comme aspirant.

Les nombreux rapports inscrits dans les registres des procès-verbaux, dont plusieurs d'une très-grande importance, prouvent la part active qu'il prit aux travaux du conseil ; il y discutait avec clarté et sobriété et parvenait souvent, par l'autorité de ses travaux, non moins que par une bonne argumentation, à faire prévaloir son avis.

On construisait, en 1846, le chemin de fer du Centre, et plusieurs effondrements du sol, dénotant des vides intérieurs, s'étaient produits, notamment auprès de Vierzon. Dufrénoy, chargé conjointement avec MM. les inspecteurs généraux des ponts et chaussées Kermaingant et Vauvillers d'étudier les causes de ces accidents et les moyens d'y remédier, découvrit, par une série de sondages effectués de 25 en 25 mètres, l'existence de cours d'eau traversant deux suites de cavités souterraines recouvertes par le calcaire tertiaire d'eau douce ; le plus étendu des deux constitue la corde de l'arc décrit par la Loire entre Gien et Blois, et le second qui serait également une dérivation de ce fleuve, se rattacherait au cours souterrain du Loiret.

Les observations faites pendant cette mission sont consignées dans un mémoire inséré au bulletin de la société géologique sous le titre : *Cavités et courants souterrains dans la vallée de la Loire aux environs d'Orléans* (*).

Nous arrivons à 1848 et aux difficultés de la situation d'alors pour tous ceux qui tenaient un rang élevé dans l'administration.

Parmi les corporations des métiers de Paris, il n'y en eut peut-être pas une qui ne se crût déchue si elle n'avait pas fait son émeute contre ses supérieurs ou contre les agents de l'État. C'est ainsi que les ouvriers carriers des environs

(*) *Bulletin de la Société géologique*, tome IV, 1846-1847.

de Paris se mirent en insurrection, allant jusqu'à menacer la vie des ingénieurs attachés au service départemental de la Seine et investis de la surveillance des travaux. Il suffirait de nommer ces ingénieurs pour prouver à quel point cet acte de violence était peu motivé; n'importe, il fallut rétablir l'ordre et la futilité des motifs ne rendait pas la chose plus facile ; Dufrénoy, par sa qualité d'inspecteur général du département de la Seine, se trouva naturellement désigné pour occuper le premier rôle en cette circonstance; il convoque les plus exagérés parmi les émeutiers, les fait comparaître devant une commission, les interroge, leur démontre le peu de fondement de leur mécontentement et, par la fermeté de son attitude, par l'énergie de sa parole, il parvient à les faire rentrer dans le devoir, à rétablir le calme.

Inspecteur des études à l'École des mines depuis 1836, il fut nommé directeur de cette école en 1848 ; la croix de commandeur de la Légion d'honneur lui fut décernée en 1850.

Vers le milieu de 1851, Dufrénoy retourné à Londres comme membre du jury français de l'Exposition universelle y fut nommé vice-président et rapporteur de la 1re classe par une commission qui comptait des délégués de toutes les nations ; son rapport qui parut en anglais sous le titre : *Report on mining, quarrying, metallurgical operations and mineral products* (Paris, 1851) fit grand honneur à son auteur.

Remarqué partout où il agissait, il se distingua de la même manière à l'exposition universelle française de 1855.

A cette époque se rapportent trois missions fort importantes confiées à Dufrénoy par le ministre des travaux publics, la première en 1851 ayant pour but l'assainissement et surtout la fertilisation de la Sologne, les deux autres (1856) relatives aux sources minérales de Vichy et de Plombières.

Dans sa mission de Sologne Dufrénoy, après avoir étudié la constitution géologique de cette contrée, et fait connaître les quatre subdivisions du terrain tertiaire qu'on y observe superposées à la craie, savoir : les calcaires d'eau douce, les argiles légères, les sables avec argile compacte, les fahluns, rend compte des recherches opérées jusqu'alors pour obtenir des marnes fertilisantes et indique les travaux à entreprendre dans les localités les plus dignes d'intérêt; il proposait, en outre, la création d'un service spécial de géologie agricole. Les conclusions de cet important rapport, adoptées par le conseil général des mines, ont conduit aux travaux d'exploitation qui se poursuivent encore aujourd'hui.

Dès 1854, Dufrénoy, conjointement avec MM. les inspecteurs généraux Thirria et Levallois, avait étudié l'intéressante et délicate question de la législation des sources minérales ; il avait, en qualité de rapporteur de la commission, présenté un travail des plus complets dans lequel, séparant le domaine de l'ingénieur de celui du médecin, il posa les bases de la loi du 14 juillet 1856 et du règlement du 8 septembre suivant.

Bientôt après, sans doute en prévision de l'application de cette loi, il était chargé d'étudier la situation des sources minérales de Vichy et l'influence que pouvaient avoir exercée sur leur régime des sondages effectués à proximité.

Finalement, dans la séance du conseil du 13 février 1857, et ce fut là son dernier rapport, il rendit compte de l'étude qu'il venait d'achever, des sources minérales de Plombières, en indiquant les travaux de captage qu'il jugeait à propos de faire entreprendre ; ces travaux ont été exécutés depuis avec le succès le plus complet et tels que les avait conçus cet illustre ingénieur.

Dufrénoy, élevé le 15 octobre 1851 au grade d'inspecteur général de première classe, avait atteint le degré le plus élevé de la hiérarchie des ingénieurs, quand une mort

prématurée vint soudain mettre un terme à sa carrière, dans les premiers jours du printemps de 1857.

Sa carrière comme savant. — Bien que la géologie et la minéralogie soient comptées comme parties intégrantes de la science de l'ingénieur des mines, il m'a semblé utile de séparer les travaux relatifs à ces deux sciences de ceux de la carrière d'ingénieur, à cause de l'importance toute particulière qu'ils ont tenue dans la vie de Dufrénoy, car ils eussent suffi à sa célébrité s'il n'avait pas appartenu au corps des mines.

Nous avons vu que son esprit, préparé par de bonnes études littéraires et scientifiques, s'était trouvé propre à toute espèce d'application dès son entrée à l'école des mines, laissant percer partout la rectitude de jugement qu'il avait reçue en partage et les bonnes méthodes de travail, fruit de l'enseignement de l'École polytechnique. Ces dispositions jointes à une tendance marquée pour les sciences naturelles, le dirigèrent tout à la fois vers l'étude des grandes masses qui constituent l'écorce terrestre et des éléments particuliers dont elles sont composées.

La suppléance de M. Brochant de Villiers à l'École des mines, l'avait mis et maintenu au courant des deux sciences qu'il devait enseigner, lorsqu'en 1822 fut projeté le travail de la carte géologique de la France ; nous avons déjà mentionné le voyage qu'il fit en 1823, de commun avec M. Élie de Beaumont, sous la direction de leur vénérable maître, dans le but d'étudier sur place les terrains décrits par les géologues anglais ; ce fut le premier travail qu'il fit avec son jeune collègue et l'origine de « cette noble association, « si féconde pour la science, pour leur commune gloire et « qui devait jeter tant d'éclat sur le corps des mines (*). »

Presque tout était alors à faire en France sous le rapport

(*) De Senarmont. Discours prononcé le 23 mars 1857.

de la géologie générale du pays; il n'existait, en effet, qu'un essai de la distribution des principaux terrains à la surface de la France, publié en 1822 par MM. Omalius d'Halloy et Coquebert de Monbret et plusieurs travaux monographiques se rapportant à diverses localités, à des provinces, à des chaînes de montagnes, tels que ceux de Guettard, de Monnet, de Cuvier et Alexandre Brongniart, de Charpentier, etc.

En vue des explorations que devaient entreprendre séparément les deux jeunes ingénieurs, le territoire de la France fut partagé en deux régions par une suite de lignes passant par Honfleur, Alençon, Avallon et Châlons-sur-Saône, par les cours de la Saône et du Rhône jusqu'à la Méditerranée; la portion sud-ouest échut à Dufrénoy, l'autre à son collègue.

Ces explorations devaient commencer chaque année après les examens des élèves de l'École des mines et se prolonger jusqu'à la reprise des cours.

Les premiers voyages furent entrepris en 1825 isolément; dès 1826 M. l'ingénieur Fénéon fut attaché pendant deux années à M. Élie de Beaumont et l'auteur de cette notice à M. Dufrénoy jusqu'à la fin du travail séparé des deux auteurs de la carte géologique.

On se trouva bientôt aux prises avec des difficultés de plus d'un genre, les unes matérielles telles que l'imperfection des moyens de transport et plus encore celle des lieux de stationnement en certaines régions de la France.

Les autres d'une nature scientifique, telles que l'ignorance absolue dans laquelle on se trouvait parfois sur la nature des terrains que l'on rencontrerait le lendemain, sur la meilleure direction à choisir pour observer utilement.

Puis l'imperfection des cartes topographiques destinées à recevoir le tracé des limites géologiques. Les feuilles de Cassini étaient alors le seul travail géographique assez dé-

taillé pour servir de guide à une exploration de détail qui ne pouvait se faire qu'à pied et l'on sait à quel point la configuration du sol y est imparfaitement représentée.

Mais les difficultés avaient beau grandir, elles n'atteignaient jamais au niveau de l'énergique persévérance de Dufrénoy et des ressources de tout genre qu'il trouvait dans son esprit. Loin d'opposer à ses observations des obstacles infranchissables, les fatigues physiques, les intempéries, ne faisaient parfois qu'animer sa bonne humeur. On en jugera par l'extrait suivant d'une lettre qu'il m'adressait de Bordeaux le 13 octobre 1827 après une séparation de plusieurs jours :

« Votre..... lettre m'a procuré quelques moments de « plaisir et m'a délassé en partie de mes fatigues. Si le « temps a été brumeux de votre côté, il a été beaucoup « plus généreux du mien, et, depuis mon départ de Bergerac, je puis dire avoir reçu la pluie au moins quatre « ou cinq heures par jour. Je ne veux pas entrer dans des « détails sur les jouissances continuelles que j'ai éprouvées, elles vous rendraient jaloux et vous m'en voudriez « d'avoir choisi la meilleure part ; du reste, je suis votre « *dear lord* et il était juste que je me fisse la part du lion. « Pour vous en donner une idée, je vous dirai que je suis « allé de Beaumont à Bergerac (12 lieues de poste dont 6 « dans la traverse) plus chargé que le fameux jour de Gourdon ; je ne défais pas le paquet pour que vous puissiez « en juger. A la vérité j'avais pour compagnons de voyage « trois sphérulites dont une est, sans exagérer, double de « votre *hypurite de poche*, et comme elle avait le caractère « le plus indomptable, elle n'a jamais voulu entrer dans « mon sac et j'ai été obligé de la porter sur mon bras. Pour « me délasser je suis tombé dans la meilleure auberge, il « est vrai, mais dans laquelle une nuée de cousins m'a empêché de fermer l'œil, ce que vous concevrez facilement « quand vous verrez les deux ou trois cents piqûres dont je

« porte encore les marques. Enfin, le lendemain j'ai fait « cinq lieues sur les marnes d'eau douce et quatre sur l'ar- « gile plastique, les premières étaient glissantes, les autres « collantes, de façon que, dans le commencement je crai- « gnais toujours d'aller trop vite et à la fin j'ai craint d'é- « prouver le même sort que près de Bidache d'heureuse « mémoire. Il est vrai qu'en cette seconde représentation « j'avais un avantage de plus, c'est que les nuages noirs « qui se promenaient autour de nous dans les Pyrénées, « étaient là au-dessus de ma tête et ne me laissaient pas « ignorer leur présence..... »

Ce fut après l'exploration de 1826 du sud et du sud-ouest de la France, notamment après l'étude des Pyrénées, sur le revers français et sur le revers espagnol que Dufrénoy reconnut, dans une partie des terrains confondus jusqu'alors, soit avec les terrains de transition, soit avec les terrains jurassiques, la présence de la formation crétacée. Il y fut conduit par l'étude comparative des roches, par celle des fossiles, et quand il en eut acquis la certitude, cette découverte lui causa une joie semblable à celle d'Archimède sortant de son bain sans vêtement et s'écriant : Je l'ai trouvé !

« C'est de la craie, c'est de la craie !. de la craie, de la « craie ! m'écrivait-il le 8 mars 1827, tel est le refrain que « je répète depuis huit jours..... Les rapprochements sont « tellement frappants que je mets le plus grand prix à ce « que vous arrangiez vos affaires pour être dans notre « bonne ville au plus tard le 15 mai et que nous puissions « étudier nos suites ensemble..... Il faut maintenant que je « vous indique les malheureux calcaires qui se voient dé- « trônés en passant du Jura dans la craie. »

La campagne de 1827 fut consacrée par Dufrénoy à la région orientale de sa circonscription, aux environs de Saint-Étienne, à la chaîne du Forez, puis aux formations anciennes et houillères, aux terrains tertiaires et volcaniques

de l'Auvergne, aux groupes trachitiques du mont Dore et du Cantal, au centre de la France, aux Landes, aux environs de Bordeaux, etc.

L'année 1828 ramena une seconde fois Dufrénoy dans les Pyrénées, le reste de cette campagne et celle de 1829 furent employés aux régions centrale et occidentale de la France, notamment au Poitou, à l'Anjou, à la Bretagne, à la Normandie et dès lors l'investigation de Dufrénoy avait porté sur toute la région qui lui était assignée. Sans oser rétendre qu'il n'y eût plus à revenir sur ses déterminations de terrains, notamment en ce qui concerne certains détails, je ne crains pas d'affirmer que non-seulement le chaos avait perdu ses obscurités, mais que l'étude des terrains de tout âge était assez avancée pour qu'on pût les préciser sur une carte avec une certaine assurance ; la géologie de notre pays avait fait un immense progrès et les courses que firent depuis en commun MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont, sur des points restés douteux, achevèrent, en 1833, cette belle et grande œuvre que nous avons vue paraître en 1840.

A la date du 3 novembre 1833 Dufrénoy écrivit à M. le directeur général des ponts et chaussées et des mines : « Le voyage que nous avons fait cette année et qui sera ter« miné sous peu de jours, nous a permis de remplir les la« cunes que nous avions laissées dans l'ouest de la France ; « il complète à très-peu de chose près notre travail, en « sorte que nous espérons pouvoir vous présenter cette an« née un exemplaire complet de la carte géologique. La gra« vure en relief du sol..... empêchera seul l'administration « de la livrer au public.

« Ils avaient exploré plus de 530.000 kilomètres quarrés « et ils avaient élevé aux sciences géologiques un monument « impérissable, auquel demeureront à jamais attachés les « noms inséparables des deux amis, des deux glorieux col-

« laborateurs, comme celui de l'illustre Cassini au premier « monument des sciences géodésiques (*). »

Ceux qui ont concouru à une œuvre importante, quelque faible qu'ait été leur participation, possèdent rarement le don d'en parler avec une complète impartialité; j'éviterai donc d'émettre mon appréciation personnelle sur la part du travail dont l'honneur revient à Dufrénoy, dans la crainte qu'elle ne paraisse suspecte au lecteur; et je préfère transcrire ici l'opinion d'un juge à la fois impartial et compétent à tous égards, M. le vicomte d'Archiac, aujourd'hui membre de l'Institut (**).

« La chaîne des Pyrénées, disait-il, étudiée d'abord par « Ramond, Palassou et de Charpentier, était assez connue « minéralogiquement et pétrographiquement, c'est-à-dire, « sous le rapport des roches et des minéraux qui les « constituent ou qu'elles renferment accidentellement, mais « géologiquement, ou sous celui des relations stratigra- « phiques et de l'âge de ces roches, il restait à peu près « tout à faire. Dès 1830, Dufrénoy avait accompli cette « partie de sa tâche, il était parvenu à jeter une vive lu- « mière sur ce chaos, résultat de nombreuses et fréquentes « dislocations. Les rapports naturels des couches, interver- « tis ou masqués, leurs caractères minéralogiques, modifiés « ou complétement changés, l'absence, la rareté ou le « mauvais état des débris organiques, l'enchevêtrement des « produits ignés et sédimentaires, tout concourait à entra- « ver le travail du géologue occupé sans cesse à rétablir la « pagination première de tous ces feuillets déplacés et « brouillés du livre de la nature. »

« Notre confrère réussit néanmoins à tracer avec une « grande sûreté de coup d'œil, dans cette vaste chaîne,

---

(*) De Senarmont. Discours prononcé le 22 mars 1857.

(**) Notice sur la vie et les travaux de P. A. Dufrénoy, lue à la Société géologique de France en mai 1860.

« comme dans les plaines qui la bordent au nord et au sud, « les limites respectives des roches primaires ou cristallines, « du terrain de transition, du grès bigarré, des formations « jurassique, crétacée et tertiaire. Il étudia de même les « roches anciennes du centre de la France et de la Bretagne « ainsi que les dépôts secondaires qui les circonscrivent et les « sédiments tertiaires qui occupent en général les grandes « dépressions placées entre ces divers massifs. »

Les résultats des observations faites pendant les explorations dont je viens de rendre compte ont été le sujet de nombreux mémoires que nous trouvons insérés, soit dans les *Annales des Mines*, soit dans le *Bulletin de la Société géologique de France*, soit dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, enfin dans les volumes de l'explication de la carte géologique de la France.

Nous parlerons séparément de ces derniers.

Sans nous préoccuper ici de l'ordre chronologique de ces mémoires, mais adoptant l'ordre de superposition des formations, nous citerons d'abord comme parlant des terrains cristallins, un mémoire intitulé : *Considérations générales sur le plateau central de la France et particulièrement sur les terrains secondaires qui recouvrent les pentes méridionales du massif primitif qui le compose*, dont les trois premières parties (*) traitent d'abord de la masse granitique puis du terrain houiller et du trias superposés aux roches cristallines.

Dans quatre mémoires (**) publiés de 1839 à 1841, il

(*) *Annales des mines*, 2e série, tomes III et IV.

(**) Mémoire sur l'âge et la composition des terrains de transition dans l'ouest de la France. (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, tome VIII, 1839.)

Observations sur l'existence du terrain dévonien en Bretagne, (*Bulletin de la Société géologique*, tome XI, 1839-1840.)

Sur le terrain des environs de Sablé. (*Ibid.*, tome XII, 1840-1841.)

Sur le calcaire silurien de Chaufour. (*Ibid.*, tome XII, 1840-1841.)

expose avec beaucoup de clarté ses idées sur la nature du terrain de transition dans l'ouest de la France, notamment en Bretagne où il signale l'existence des étages cambrien, silurien et dévonien.

La suite du mémoire déjà cité qui a paru dans le tome V des *Annales des Mines* (1829) sous le titre : *Des formations secondaires qui s'appuient sur les pentes méridionales des montagnes anciennes du centre de la France*, décrit avec un soin tout particulier d'abord le lias avec ses divisions, puis les trois étages de l'oolithe et dans toutes ces descriptions, l'auteur applique avec une grande justesse d'esprit, les études qu'il avait faites en Angleterre pendant son voyage de 1823.

D'autres travaux ont été spécialement consacrés aux minéraux adventifs des terrains stratifiés, notamment à ceux du lias; tel est le mémoire sur *l'existence du gypse et des divers minerais métalliques renfermés dans la partie supérieure du lias du sud-ouest de la France* (*).

Une autre série de publications a eu particulièrement pour objet les terrains jurassiques (**).

Mais de tous ses travaux sur les terrains secondaires, celui qui eut, avec raison, le plus de retentissement fut son *Mémoire sur les caractères particuliers du terrain de craie dans le sud de la France et principalement sur les pentes des Pyrénées* (***), dans « lequel, dit M. d'Archiac (****), « Dufrénoy a séparé avec beaucoup de sagacité des roches « réellement intermédiaires, un immense système de

(*) *Annales des mines*, 2e série, tome II, 1827.

(**) Observations sur les divisions des terrains jurassiques en France. (*Bulletin de la Société géologique*, tome X, 1838-1839.)

Mémoire sur les calcaires jurassiques du plateau du Larzac et des Cévennes. (*Ibid.*, tome XI, 1839-1840.)

Sur les calcaires jurassiques à l'est de Poitiers. (*Ibid.*, tome XIV, 1842-1843.)

(***) *Annales des mines*, 2e série, tome VIII, et 3e série, tome I.

(****) Notice sur la vie et les travaux de P. A. Dufrénoy.

« couches qui y avait été compris à tort par tous ses pré-« décesseurs et l'a remonté jusqu'à la dernière période se-« condaire. »

Parmi les mémoires consacrés aux terrains plus récents, nous citerons, en première ligne, celui *sur les terrains tertiaires du bassin du midi de la France* (*), où sont décrits les dépôts qui remplissent la dépression comprise entre les terrains secondaires du versant septentrional des Pyrénées et ceux du plateau central de la France, depuis les côtes de l'Océan jusques et compris les bassins de l'Aude, de l'Orb et de l'Hérault ; « les grandes divisions tracées par « l'éminent ingénieur, dit M. d'Archiac (**), sont restées « de précieux repères pour ses successeurs. »

Dès 1830, Dufrénoy avait signalé en Auvergne l'alternance des dépôts lacustres et des terrains volcaniques (***).

Enfin, dans un *Mémoire sur la position géologique du terrain siliceux, de la Brie et des meulières des environs de La Ferté* (****), il fit voir, par la superposition aux meulières du grès tertiaire supérieur, que ces deux subdivisions étaient de la même époque, montrant ainsi « qu'aux envi-« rons de Paris, même après MM. Cuvier et Brongniart, il « pouvait y avoir quelque chose à découvrir sur les ter-« rains tertiaires (*****) ».

Une seconde exploration faite en commun avec M. Élie de Beaumont, dans les montagnes volcaniques de l'Auvergne, eut pour résultat leur *Mémoire sur les groupes du Cantal et du mont Dore et sur les soulèvements auxquels ces montagnes doivent leur relief actuel* (******).

(*) *Annales des mines*, 3e série, tome VI.

(**) *Notice sur la vie et les travaux de P. A. Dufrénoy.*

(***) Sur la relation des terrains tertiaires et des terrains volcaniques de l'Auvergne. (*Annales des mines*, 3e série, tome VII, 1835.)

(****) *Annales des mines*, 3e série, tome VIII, 1835.

(*****) De Senarmont. Discours prononcé le 22 mars 1857.

(******) *Annales des mines*, 3e série, tome III, 1833.

Après avoir soumis à un calcul analytique très-simple les surfaces soulevées et la valeur des interstices résultant du crevassement dans le cas général, les auteurs de ce savant travail comparent les groupes du centre de la France avec les cratères de soulèvement des îles Ténériffe et de l'Archipel grec décrits par Léopold de Buch, et ils terminent par des descriptions non moins ingénieuses que détaillées des deux groupes trachitiques du Cantal et du mont Dore.

Nous ne saurions passer sous silence plusieurs autres travaux sur des roches adventives dont Dufrénoy avait à plusieurs reprises fait une étude spéciale: tels sont un mémoire *sur les relations des ophites, des gypses et des sources salées des Pyrénées et sur l'époque de leur apparition* (*), un mémoire *sur la position géologique des principales mines de fer de la partie orientale des Pyrénées, accompagné de considérations sur l'époque du soulèvement du Canigou et sur la nature du calcaire de Rancié* (**), et plusieurs mémoires de moindre importance (***) attestant comme les précédents, l'immense variété des sujets auxquels se sont appliquées ses savantes investigations.

La plupart des travaux géologiques dont je viens de donner la longue énumération ont servi à la rédaction du texte de la carte géologique de France.

Nous trouvons au tome Ier de cette grande œuvre, après une introduction rédigée en commun avec son collaborateur, la description du terrain ancien et du terrain de transition au centre de la France (*chapitre* 2), celle des mêmes terrains dans la presqu'île de Bretagne (*chapitre* 3); plusieurs articles concernant le terrain houiller (*chapitre* 7).

Dans le second volume, nous voyons la description du

(*) *Annales des mines*, 3e série, tome II, 1832.

(**) *Annales des mines*, 3e série, tome V, 1835.

(***) Sur les roches éruptives des bords de la Loire. (*Bulletin de la Société géologique*, tome XII, 1841-1842.)

Sur l'âge des gypses d'Aix. (*Ibid.*, 2e série, tome IV, 1847-1848.)

trias s'appuyant sur les montagnes du Charolais et de Tarare, du trias déposé sur le pourtour des montagnes anciennes du centre de la France (*chapitre* 8) ; une série d'articles relatifs aux terrains jurassiques de la Normandie, du versant septentrional du plateau central du sud-ouest de la France, du plateau du Larzac et des Cévennes, des environs de Lyon et de la rive droite de la vallée de la Saône.

Le troisième volume de la description de la carte n'a pas encore paru, mais Dufrénoy a laissé complétement achevés les chapitres qu'il devait y insérer, et dont nous transcrivons les intitulés, savoir :

Chapitre 12. Formation crétacée du bassin du sud-ouest de la France.

Chapitre 13. Description du terrain tertiaire inférieur dans le bassin sud-ouest de la France.

Chapitre 14. Terrain tertiaire moyen dans le sud-ouest et le sud de la France.

Chapitre 15. Terrain tertiaire supérieur. Superposition transgressive de l'étage supérieur sur l'étage moyen. Le terrain tertiaire supérieur est composé principalement de dépôts de transport. Sa répartition à la surface de la France.

Chapitre 16. Description de la chaîne des Pyrénées, sa structure, sa composition et les différents terrains qui la constituent.

Chapitre 21. Description des terrains volcaniques de l'Auvergne.

L'apparition de la carte géologique de la France fut un événement dans le monde savant où elle reçut partout l'accueil le plus mérité. A cette occasion, la Société géologique de Londres qui, depuis plusieurs années, avait appelé dans son sein les deux auteurs de cette grande œuvre, leur décerna la médaille de Wollaston, et par la dérogation la plus flatteuse aux règles établies par l'institution même de cette médaille, elle en offrit un exemplaire à chacun des deux collaborateurs.

Mais ses investigations géologiques ne se bornèrent pas aux limites de la France : Dufrénoy nous a laissé deux précieux mémoires, l'un intitulé : *Sur les terrains volcaniques des environs de Naples* (*) ; l'autre : *Parallèles entre les différents produits volcaniques des environs de Naples et rapports entre leurs compositions et les phénomènes qui les ont produits* (**).

Ils furent le résultat d'un voyage entrepris en commun par les deux auteurs de la carte géologique de la France dans le but de comparer les terrains volcaniques de l'Italie avec ceux de l'Auvergne. L'étude porta principalement sur les deux grands volcans de cette contrée; l'Etna avec la Sicile fut assigné à M. Élie de Beaumont, le Vésuve et la Campanie à Dufrénoy.

Nous rencontrons dans ces mémoires une étude approfondie des roches des environs de Naples, des trachytes, des laves anciennes et modernes, notamment des tufs ponceux que l'auteur trouve identiques à la Somma, dans le massif de collines des champs Phlégréens, dans toute la Campanie, à l'île d'Ischia. La présence de coquilles fossiles dans les tufs lui prouve qu'il faut attribuer le dépôt de ces roches à une action neptunienne, et, après avoir observé dans les champs Phlégréens le relèvement des tufs vers les masses trachytiques, il est conduit à regarder la Somma comme le résultat d'un soulèvement semblable et distinct constituant, dans l'origine, une enceinte conique au centre de laquelle a surgi plus tard, et successivement, le cône actuel du Vésuve en commençant à l'éruption de Pline l'an 79 de l'ère chrétienne.

Suivant lui, ce furent des déjections boueuses qui ensevelirent, en les conservant intactes, les villes d'Herculanum et de Pompéi.

(*) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, tome I, 1825.
(**) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, tome VI, 1838.

Afin de ne pas trop nous étendre, nous avons omis, dans cette liste déjà bien longue, un assez grand nombre de rapports de Dufrénoy sur des mémoires présentés à l'Académie des sciences par divers géologues, rapports insérés dans les *Comptes rendus*.

Mais nous ne saurions omettre, dans l'énumération de ses œuvres pour l'avancement de la géologie, la part active qu'il prit à la création de la Société géologique de France, dont il fut le premier vice-secrétaire et qu'à deux reprises il eut l'honneur de présider; nous ne saurions oublier l'intérêt qu'il porta constamment à cette société, même quand la multiplicité de ses occupations l'empêcha d'en suivre les séances; nous ne saurions laisser inaperçus les services signalés, qu'en plusieurs occasions il lui rendit, soit auprès du ministre des travaux publics, soit auprès de celui de l'instruction publique.

Nous arrivons maintenant à un autre ordre de travaux scientifiques de Dufrénoy, à ceux qu'il accomplit pour l'avancement de la minéralogie.

Dufrénoy qui, dans l'origine, s'était fait remarquer comme professeur-suppléant du cours de minéralogie à l'École des mines, c'est-à-dire, en exposant les idées des auteurs qui l'avaient précédé, fixa bientôt l'attention par ses travaux originaux : les uns cristallographiques se rapportant à la forme, les autres chimiques, traitant de la composition des minéraux.

De nombreux mémoires, insérés dans les recueils scientifiques désignés ci-dessus à l'occasion des publications géologiques, témoignent de ce qu'il a fait sous ce rapport depuis 1828 jusqu'en 1842.

Parmi ces travaux, les uns se rapportent à des espèces nouvelles dont on lui doit la découverte, telles que l'*huréaulite*, la *couzéranite*, la *dréelite*, la *villarsite*, le *plomb gomme* de Nussière, la *junckérite*, la *greenovite*.

Les autres ajoutent aux connaissances déjà acquises sur

des espèces minérales décrites antérieurement; de ce nombre sont des mémoires ou de simples notes *sur la glaubérite* de Vic, *sur le gisement et la composition de quelques silicates alumineux; sur la cristallisation et la composition de la laumonite*, de *la bournonite*, du *sphène* de Saint-Marcel, sur l'*arsénio-sidérite*, sur *le diaspore*, sur l'*apophyllite* du Puy-de-la-Piquette, sur *la magnésie* de Chenevières, sur la chute et la composition d'un *aérolithe* tombé, èn 1841, près de Château-Renard.

Nous mentionnerons encore ici trois mémoires publiés par lui sur la nature minéralogique et la composition chimique de plusieurs cendres volcaniques, notamment sur celles lancées par les volcans de l'Amérique équatoriale, un mémoire du même genre concerne une poudre recueillie à Amphissa en Grèce.

D'autres publications concernent les principes mêmes de la science, tel est celui ayant pour titre : *Expériences et accidents de cristallisation prouvant l'influence des milieux sur les formes secondaires des cristaux* (*).

Je m'abstiens de mentionner un grand nombre de rapports faits à l'Académie sur des travaux de minéralogie soumis à l'appréciation de ce corps savant et que l'on trouve insérés dans les *Comptes rendus*.

Mais de toutes ses œuvres de minéralogie, la plus importante et celle qui résume toutes les autres, est son *Traité de minéralogie* dont la première édition, en 3 volumes et atlas, parut de 1841 à 1847, et dont il ne devait plus voir publiée, dans son entier, la deuxième édition, entièrement refondue, remplie d'aperçus nouveaux et augmentée d'un 4ᵉ volume. Trois volumes étaient déjà publiés et les épreuves du dernier étaient entièrement corrigées de sa main quand cette main qui avait tant écrit cessa d'écrire!

(*) *Bulletin de la Société géologique*, tome IX, 1837-1838.

Sa famille fit immédiatement terminer la publication de cet ouvrage auquel son auteur avait consacré les dernières années de sa vie.

Dans son traité, la méthode pour la détermination des minéraux est principalement fondée sur leurs caractères extérieurs.

« Je pense, dit l'auteur, qu'il faut donner à la chimie la « plus grande part dans la classification oryctognostique.... « mais qu'il est nécessaire de n'employer autant que pos- « sible, à la reconnaissance des minéraux, que les caractères « extérieurs; il ne faut avoir recours aux essais que lorsque « ces caractères sont insuffisants..... Le géologue et le mi- « neur doivent donc s'habituer à déterminer les mineraux « par leur simple forme. »

Après l'exposé des principes de la minéralogie, après avoir familiarisé le lecteur avec les instruments employés dans cette science et les procédés adaptés à l'étude des minéraux, Dufrénoy aborde la description des espèces qu'il sait rendre intéressante tantôt par d'ingénieux rapprochements, tantôt par d'utiles considérations sur l'emploi des substances minérales.

Pour l'appréciation d'une œuvre de cette importance, on me saura gré de ne pas me contenter d'inscrire ici mon propre jugement, mais de rapporter textuellement les opinions émises par des juges dont le témoignage est entouré du respect de tous les savants.

« Jamais, a dit l'un d'eux, la cristallographie n'eut un « interprète plus facile et plus élégant (*).

« Par ses ouvrages (**), M. Dufrénoy montre qu'il est à la « fois excellent minéralogiste et savant géologue. Dans son « *Traité de minéralogie*, il expose, il développe avec netteté,

---

(*) Élie de Beaumont. Discours prononcé le 22 mars 1857.

(**) Discours prononcé le 22 mars 1857 par M. Damour, membre correspondant de l'Institut.

« avec l'élégance et la facilité de style dont il possédait si « bien le secret, les lois de la cristallographie, les carac- « tères physiques, les propriétés chimiques des minéraux. « Il fait remarquer avec une grande sagacité les associa- « tions, les rapports des espèces entre elles et leur rôle en « géologie. Il étudie ensuite chacune des espèces, discute « leurs caractères et leur valeur avec cet esprit de critique « judicieuse et impartiale qui porte la lumière et ramène « dans le chemin de la vérité. Si, dans ces derniers temps, « nous ne voyons que trop souvent des minéralogistes éta- « blir bien à la légère des espèces nouvelles et mal définies, « il est beaucoup plus rare d'en rencontrer qui s'appliquent « à effacer de la nomenclature les substances qui ne doivent « pas y figurer. Il est facile, en effet, de s'attribuer le mé- « rite d'avoir donné un nom à une substance sans avoir « pris la peine de la bien étudier pour la définir; mais « c'est un travail long, ingrat et difficile, en minéralogie « plus encore qu'en toute autre science, que de démontrer « l'erreur..... Dans le cours de son Traité, comme dans ses « *Notices minéralogiques*, M. Dufrénoy observe avec saga- « cité, il n'hésite pas à supprimer beaucoup de noms nou- « vellement introduits et à réunir en une même espèce « des substances minérales qu'on n'aurait jamais dû « séparer. »

C'est ici le lieu de mentionner la part qu'eut Dufrénoy pour faire rentrer en France la précieuse collection de minéraux créée par Haüy, et qu'après la mort du fondateur de la cristallographie le duc de Buckingham avait transférée en Angleterre. Cette collection se trouvant à vendre après le décès du duc, Dufrénoy, en sa qualité de professeur au Muséum d'histoire naturelle, proposa au ministre de l'instruction publique d'en aller faire l'acquisition; ce projet eut un plein succès, et le continuateur d'Haüy eut la satisfaction de replacer, de ses mains, dans les galeries du Jardin des plantes, cette suite précieuse à laquelle s'attachent

tant de souvenirs et tant d'intérêts pour l'histoire naturelle des minéraux.

Tels furent les travaux de Dufrénoy en géologie et en minéralogie, non moins remarquables par le nombre, par la variété que par la valeur scientifique; ils attirèrent à leur auteur la plus haute récompense à laquelle un savant puisse prétendre, ils lui ouvrirent, en 1840, les portes de l'Institut.

Au mois de juin 1829, la Société philomathique l'avait appelé dans son sein; nous avons déjà vu que peu d'années après il avait été nommé membre de la Société géologique de Londres.

Comme professeur et directeur de l'École des mines. — Nous avons déjà dit que, pourvu d'un sous-arrondissement qui lui permettait la résidence de Paris, Dufrénoy fut appelé à l'enseignement sur la proposition de M. Brochant de Villiers; dès 1825 il suppléait le professeur de minéralogie et de géologie à l'École des mines de Paris, mais il ne tarda pas à céder la suppléance de la géologie : « Ma couronne est divisée en deux, m'écrivit-il au mois de mars 1827, en m'annonçant les démarches qu'il venait de faire, d'accord avec M. Brochant de Villiers, auprès de M. Becquey, alors directeur général des ponts et chaussées et des mines, pour faire donner la suppléance du cours de géologie à M. Élie de Beaumont; « j'ai déclaré que je trouvais la division utile « à la chose publique, mais j'ai ajouté que j'y consentais « principalement dans l'intention de faire un heureux de « plus. »

A partir de ce moment, le professorat de Dufrénoy fut réduit à la minéralogie, et il devint titulaire du cours en novembre 1835 quand M. Brochant de Villiers eut annoncé l'intention de se retirer.

Dès 1826, il était professeur de minéralogie et de géologie à l'École des ponts et chaussées; son cours, moins scientifique que celui de l'École des mines, rédigé

surtout en vue des applications à l'art de l'ingénieur, fut publié en 1844 et 1845; on verra ci-dessous de quelle manière fut apprécié par ses élèves cet enseignement qui dura près de 25 ans.

Il avait suppléé M. Alex. Brongniart dans son cours de minéralogie au Muséum d'histoire naturelle; il l'y remplaça définitivement le 7 octobre 1847 quand la mort vint enlever aux sciences cet illustre savant. A cette occasion, après quinze ans d'exercice, il quitta le professorat de l'École des mines.

Quant à sa manière de professer, je ne puis mieux la faire connaître qu'en reproduisant les paroles mêmes de l'un de ses élèves de l'École des ponts et chaussées, M. Hervé Mangon (*), devenu ingénieur et professeur lui-même à cette école. « Sa parole sobre et concise, mais toujours claire et « souvent élégante, savait appeler l'attention sur les points « les plus abstraits de la science et donner un attrait véri« table aux études les plus arides. L'élève laborieux trou« vait toujours auprès de lui un éloge et un encouragement « auxquels la réserve habituelle de ses manières donnait « un prix tout spécial. C'est avec bonheur que je peux « mettre ici ce témoignage public de ma reconnaissance « personnelle pour une bienveillance si précieuse, dont « beaucoup de ses élèves conservent, comme moi, religieu« sement le souvenir. »

Le moment est venu de parler de l'influence qu'il exerça sur l'École des mines. D'abord conservateur des collections et de la bibliothèque, il accomplit de 1819 à 1825, dans ces collections, des travaux de classement d'une grande importance en créant des suites de roches qui existent encore; plus tard (1834), inspecteur des études, adjoint et secrétaire du conseil de l'École, puis inspecteur des études en 1836, il s'appliqua à maintenir et à faciliter l'accès du

(*) Notice sur M. Dufrénoy. Mars 1857.

public aux cours et dans les collections de ce bel établissement, à développer le bureau d'essai créé par M. l'inspecteur général Berthier. En même temps, il étudia les projets d'agrandissement auxquels il donna une impulsion décisive lorsqu'en janvier 1848 il devint directeur de cette école.

Les résultats de son utile influence ont été signalés avec une véritable éloquence par Senarmont, directeur des études au moment de la mort de Dufrénoy et qui devait malheureusement le suivre dans la tombe à si peu d'années d'intervalle !

« Parmi tant de travaux utiles et glorieux, le plus utile, « le plus glorieux peut-être, est la création de l'École des « mines. Je dis la création, sans crainte d'être démenti par « ceux qui l'ont connue telle que l'avait reçue M. Dufrénoy « et qui la connaissent telle qu'il l'a laissée.

« Entre ses mains, tout a changé de face; des collec- « tions de toute nature se sont ouvertes à l'étude dans des « constructions nouvelles; l'administration et l'industrie « privée ont trouvé un laboratoire toujours prêt à répondre « à leurs demandes; un grand nombre de jeunes ingénieurs « sont venus chaque année puiser des connaissances spé- « ciales à un enseignement presque transformé, et les étran- « gers eux-mêmes ont brigué, à l'École des mines, une place « comme une faveur (*). »

Et maintenant que j'ai parlé de Dufrénoy comme ingénieur, comme savant, comme professeur, comme administrateur, ma tâche serait imparfaitement remplie, si je ne le faisais pas connaître comme homme, c'est-à-dire, tel qu'il paraissait à ceux qui l'ont approché.

Sa taille excédait la taille moyenne, et vers l'âge de trente ans il était si bien proportionné qu'il paraissait moins grand qu'il n'était réellement; il avait alors une véritable

(*) Dans l'intérêt de la vérité, il convient de dire que, dès 1818, des étrangers ont pu suivre les cours de l'École des mines.

élégance corporelle que l'âge altéra plus tard par un peu d'embonpoint.

Sa tête était légèrement penchée en avant; sa figure, sans être régulière, avait de la distinction; elle annonçait l'intelligence; l'expression de sa bouche et de ses yeux dénotait à la fois la bienveillance du caractère et une extrême finesse de l'esprit.

Sa constitution très-vigoureuse lui permettait de supporter de très-grandes fatigues corporelles et, sans une atteinte de rhumatisme articulaire qu'il eut en 1824, et dont il subissait quelquefois les retours, sans une disposition aux migraines qui le forçait parfois à s'arrêter, la fatigue physique aurait difficilement pu mettre obstacle à son activité.

Ses manières étaient réservées, son abord était froid envers ceux qu'il ne connaissait pas, mais plein d'aménité dans les rapports intimes; son geste était sobre, il parlait peu, sa parole claire, nette, concise, sans manquer parfois d'élégance, avait souvent un tour de piquante originalité.

Il aimait les jeunes gens et se plaisait à entourer de sa sollicitude, au commencement de leur carrière, les élèves de l'École des mines qui se recommandaient d'ailleurs par leur travail et leur conduite, allant parfois jusqu'à aider de sa bourse ceux dont les familles ne pouvaient leur donner une suffisante assistance.

Je n'ai plus à m'étendre sur les qualités de son esprit, elles sont mises en relief par ses œuvres qui témoignent d'une grande facilité, d'une merveilleuse souplesse permettant de traiter les sujets les plus divers.

Dufrénoy possédait en outre un véritable talent d'investigation dont la trace lumineuse brille tout autant dans ses travaux scientifiques que dans ses travaux administratifs, faculté précieuse résultant de l'heureuse association d'un esprit vif et pénétrant et d'une grande sûreté d'appréciation.

Quant à son caractère, il avait un très-grand fonds de bienveillance et surtout d'indulgence envers les autres; il plaisantait avec ses amis d'une manière aimable et souvent avec une douce ironie dépourvue de toute intention de méchanceté, quoiqu'il sût fort bien tenir un importun à distance et même écarter un indiscret.

Quand il souffrait de quelque indisposition, quand il était excédé par le travail, il devenait très-bref, parfois même assez brusque: mais devinait-il qu'il vous eût blessé, il n'y avait sortes de moyens qu'il n'employât pour effacer jusqu'aux moindres traces d'une impression désagréable.

Il n'avait de sévérité réelle qu'envers ceux qui manquaient de droiture et de délicatesse, défauts trop contraires à sa nature loyale pour qu'il pût les supporter.

Dès ses plus jeunes années, il inspirait la confiance et l'amitié, et quand il avait contracté une liaison, elle était durable. Je ne saurais mieux faire comprendre cette disposition de son excellent cœur qu'en reproduisant l'extrait d'une lettre qu'il écrivit à un ami dont il avait reçu les félicitations à l'occasion de son entrée à l'Institut.

« Je vous remercie de votre bonne lettre....., nos occu« pations nous empêchent quelquefois de nous donner signe « de vie pendant des mois entiers; mais si une circonstance « heureuse nous arrive, si un malheur vient nous frapper, « on est sûr que les véritables amis viennent partager votre « bonheur et soulager votre peine, j'étais donc convaincu « que vous auriez appris avec plaisir ma nomination à l'Aca« démie..... Notre amitié est du reste à l'épreuve de tout « événement. Quand on a voyagé ensemble plusieurs an« nées, quand on a partagé les mêmes fatigues et qu'on a « éprouvé les mêmes émotions, il est impossible de rester « indifférent l'un pour l'autre. Si les caractères ne sympa« thisent pas, on est brouillé à tout jamais, mais quand au « contraire on a le bonheur de s'entendre, on se voue une

« amitié durable, et j'espère que la nôtre sera à toute « épreuve, même à l'épreuve de l'éloignement. »

Les qualités précieuses dont il était doué lui valurent, en 1850, d'être désigné par le vœu de ses concitoyens, comme adjoint au maire du douzième arrondissement de Paris, qui renferme l'École des mines, et fort peu de temps après, d'être proposé comme maire de cet arrondissement par M. Berger, alors préfet de la Seine, fonctions que la multiplicité de ses occupations l'empêcha d'accepter.

Le même motif lui fit écarter des offres très-sérieuses qu'il reçut avant 1848 pour remplacer, comme député de la Gironde, son beau-père, M. Jay, qui, pendant plusieurs sessions avait représenté ce département à la chambre élective.

Ces instances furent renouvelées, sans plus de succès, au mois de mars 1848.

Je ne dirai pas ce que fut Dufrénoy dans l'intérieur de sa famille; pour en juger il faudrait l'y avoir connu, ou avoir lu les lettres qu'il écrivait, empreintes d'une joie vraiment naïve ou d'une profonde douleur, suivant la nature des événements dont elles rendaient compte.

Il a laissé trois fils, dont l'aîné occupe une grande position dans l'industrie belge, dont les deux autres remplissent des fonctions publiques en France.

Vers l'âge de soixante-trois ans sa robuste constitution commença à fléchir, ébranlée, moins par les fatigues corporelles que par celles de l'esprit; le travail intellectuel était son plaisir, son bonheur; il ne savait pas modérer son ardeur; sa santé dut s'en ressentir. Toutefois, rien n'annonçait une fin prochaine, quand un accident imprévu vint tout compromettre, et le 20 mars 1857 fut le dernier jour de cette carrière si belle, si utile et si noblement remplie.

Dufrénoy était alors inspecteur général de première classe au corps impérial des mines, directeur de l'École des mines, professeur au Muséum d'histoire naturelle, commandeur

de la Légion d'honneur, commandeur de l'ordre des SS. Maurice et Lazare de Sardaigne, d'Isabelle la Catholique d'Espagne, de Saint-Stanislas de Russie, de l'ordre du Christ de Portugal; il était un des membres fondateurs de la Société géologique de France, membre de la Société géologique de Londres, de la Société philomatique, membre de l'Académie des sciences, etc.

Je me suis complu dans cette longue énumération pour avoir l'occassion d'ajouter que ses grades, ses honneurs, ses dignités, il ne les dut qu'à son labeur et que s'il rencontra dans sa vie des protecteurs, il les devait à l'irrésistible attrait de ses éminentes qualités.

Pouvais-je donner un meilleur enseignement, offrir un plus noble exemple aux jeunes générations qui se destinent à la carrière de Dufrénoy ?

NOTE

SUR LES TRAVAUX DE SAUVETAGE EXÉCUTÉS AUX MINES DE LALLE (GARD), A LA SUITE DE LA CATASTROPHE DU 11 OCTOBRE 1861.

Par M. PARRAN, ingénieur des mines.

A l'époque de la catastrophe qui a frappé les mines de Lalle et causé une émotion si douloureuse dans tout le pays, ces mines étaient exploitées dans les conditions suivantes :

Les houillères de Lalle, appartenant à la Société des fonderies et forges de Bességes, renferment plusieurs couches de combustible qui se succèdent dans l'ordre suivant en allant de haut en bas, et en nous bornant aux couches exploitées (Pl. VI, *fig.* 1 et Pl. VII, *fig.* 1) :

1° Couche du Tri-de-Chaux		1m,50
2° Grande couche	n° 1 banc supérieur	1m,30
	n° 2 banç inférieur	1m,40
3° Couche Saint-Henry		1m,50
4° Couche Sainte-Barbe		1m,00

Ces couches sont inclinées de 45 degrés au moins; elles sont exploitées simultanément par trois puits, savoir :

1° Le puits incliné de Saint-Henry, foncé suivant la pente de la couche Saint-Henry, servant à l'extraction le jour et à l'épuisement la nuit. Il avait été arrêté depuis un mois et demi pour réparer la machine, maçonner les voûtes et pour relever le chemin de fer.

Il a 138 mètres de longueur et 80 mètres de profondeur verticale.

2° Le puits Sainte-Hortense (vertical, 80 mètres de pro-

fondeur), utilisé pour l'extraction pendant le jour et pour l'épuisement pendant la nuit.

3° Le puits Terrèt (vertical, 180 mètres de profondeur); l'un des câbles sert à l'épuisement, l'autre à l'extraction.

On a installé en outre, à côté de la lampisterie, un passage pour les ouvriers. C'est une galerie relevée dans les anciens travaux à laquelle aboutit une descente coudée, venant rejoindre le premier niveau de l'exploitation, et communiquant de là avec toutes les parties de la mine.

L'exploitation des mines de Lalle se fait par galeries plates espacées de 10 mètres, suivant l'inclinaison de la couche, et par des remontées à demi-pente, espacées généralement de 20 mètres. On découpe ainsi la couche en piliers qu'on enlève ultérieurement.

Trois niveaux principaux sont établis; dans chacun d'eux, on a poussé un travers banc pour mettre en communication les diverses couches; c'est là que se fait le roulage. Les charbons des chantiers supérieurs descendent aux voies de roulage par des couloirs très-rapides, et ceux des chantiers inférieurs remontent par le moyen de treuils. Le premier niveau, celui du travers banc supérieur, est à une profondeur de 50 mètres environ au-dessous de l'orifice du puits Sainte-Hortense; il sert à l'exploitation des parties supérieures des couches depuis cette profondeur jusqu'aux vieux travaux qui existent généralement au niveau de la rivière la Cèze.

Le deuxième niveau, celui du travers banc moyen, est à la profondeur de 80 mètres; c'est entre ces deux niveaux que les travaux sont surtout développés. Le traçage du charbon par piliers est effectué, et les dépilages se font en plusieurs points.

Le troisième niveau, celui du travers banc inférieur, correspond au fond du puits Terrèt, à la profondeur de 180 mètres. Une hauteur verticale de 100 mètres sépare ce niveau du précédent. Le champ d'exploitation compris entre

les deux niveaux est en voie d'aménagement, mais les travaux n'ont encore de l'importance que dans la grande couche n° 1 et surtout n° 2.

Les futurs dépilages des mines de Lalle exigent l'emploi des remblais venus du jour; dans ce but, les ingénieurs chargés de diriger l'exploitation avaient le projet d'ouvrir un plan incliné pour l'introduction des remblais.

L'emplacement choisi X, était celui par où les eaux ont fait effondrer le terrain et pénétré dans la mine. Le puits devait être établi en poussant de l'intérieur de la couche du Tri-de-Chaux une remontée R suivant l'inclinaison de la couche; les remblais devaient être distribués aux divers chantiers par des traverses horizontales et des couloirs. On comptait employer pour cet usage les laitiers des hauts fourneaux de Basséges.

L'extraction annuelle des mines de Lalle était de 45,000 tonnes environ; la quantité d'eau moyenne à épuiser en temps ordinaire est de 600 à 700 mètres cubes par vingt-quatre heures.

Telles étaient les conditions générales de l'exploitation le vendredi 11 octobre 1861, jour de la catastrophe.

Dans l'après-midi, vers trois heures et demie, à la suite d'une pluie torrentielle, les eaux de la Cèze, celles de son affluent, le ruisseau de Long, et celles du ravin de Castellas, ordinairement desséché, gonflèrent d'une manière presque subite; la crue de la Cèze atteignit le niveau de 4 mètres au-dessus de l'étiage, égal à celui de l'inondation de 1857; les eaux des ruisseaux de Long et du Castellas débordèrent; refoulées par le courant de la Cèze, qui forme à Lalle un coude prononcé, elles s'épanchèrent en nappe sur la rive gauche du Long. Tout d'un coup l'eau tourbillonna au point X, et se précipita tumultueusement dans la mine par une ouverture de 3 à 4 mètres quarrés qui venait de se faire sur l'affleurement de la couche du Tri-de-Chaux.

L'ingénieur Courroux et le maître mineur Martin Dagasso,

qui s'étaient rendus sur les lieux pour veiller à la sûreté des travaux, virent presque aussitôt sortir par la galerie de la lampisterie des mineurs épouvantés.

L'ingénieur Courroux descendit par le puits Saint-Henry, il rencontra quelques hommes qui remontaient en courant, et reconnut avec douleur que l'eau avait déjà dépassé le niveau supérieur (celui de 50 mètres). Il regagna le jour talonné par les eaux.

Le maître mineur Martin avait de son côté visité le puits Terrèt, et avait trouvé la galerie inférieure déjà recouverte. Aucun secours immédiat n'était plus possible, le malheur était consommé.

139 lampes avaient été distribuées le matin; 29 avaient été rapportées par les hommes échappés; 110 lampes manquaient et représentaient très-probablement le nombre des victimes, parmi lesquelles se trouvaient quatre chefs de poste.

Dans les rapides instants qui précédèrent l'inondation des travaux, un acte honorable de dévouement venait de s'accomplir.

Antoine Auberto, boiseur aux mines de Lalle, sortit par le puits Saint-Henry dès qu'il entendit arriver les eaux, après avoir toutefois prévenu son camarade Jacques Arnaud, chef de poste, placé 5 mètres plus bas. Il courut au puits Terrèt, fit accrocher une benne à la fourche, et descendit à la recette que l'eau commençait à envahir. Il appela; cinq ouvriers se présentèrent, quatre furent reçus dans la benne; le cinquième était rentré dans la galerie et ne reparut pas. Arrivé au haut du puits, et les quatre hommes sauvés, Auberto se fit redescendre; il aperçut un jeune manœuvre cramponné au bois de la galerie, l'attira dans la benne et donna le signal du retour, au moment même où l'eau atteignait la couronne de la recette.

D'un autre côté, un triste incident se passait à l'endroit

même où le gouffre s'était ouvert, et par lequel les eaux se ruaient dans la mine.

A la suite de l'effondrement, une galerie horizontale, menée dans la couche du Tri-de-Chaux, à quelques mètres de profondeur, et devant rejoindre le puits projeté pour l'introduction des remblais, avait été mise à nu par l'éboulement du toit et le ravinement des eaux; quelques personnes aperçurent des maisons de Lalle briller des lampes dans cette galerie, et vinrent aussitôt jeter des cordes, mais un nouvel éboulement livra subitement passage aux eaux et rendit tout secours impossible; l'une des victimes fut retrouvée le lendemain noyée dans la galerie; elle s'était attachée à un bois, ses compagnons avaient été entraînés et précipités dans les niveaux inférieurs. Que de tristes épisodes ont dû se passer ainsi dans les profondeurs de la mine, sous le seul regard de Dieu, avant que la mort ait frappé son dernier coup.

Les eaux ont envahi la mine en moins d'une demi-heure. D'après le chiffre total de l'extraction depuis la reprise des travaux par la compagnie actuelle, nous évaluâmes d'abord à 200,000 mètres cubes environ le total des vides, et par conséquent le total de l'eau à épuiser. Cette évaluation n'était que grossièrement approximative, car il était impossible de prévoir comment s'étaient produits les éboulements dans les parties dépilées, et il était probable aussi que l'eau n'avait pas pu remplir les remontées sans issue.

Le registre d'épuisement qui a été tenu avec exactitude, montra plus tard que cette évaluation ne s'écartait pas trop de la vérité.

L'air et les gaz, violemment refoulés par les eaux dans les parties supérieures de la mine, ont été expulsés en grande partie par les orifices des puits et des galeries. Ils ont été aussi emprisonnés et comprimés dans les remontées sans issue. Dans les endroits où la charge s'est trouvée trop faible, c'est-à-dire au-dessous des affleurements et des vieux

travaux, ils ont déterminé une violente explosion, lancé des terres à une assez grande hauteur et imprimé aux maisons voisines une forte secousse. L'acide carbonique, plus dense que l'air, et chassé des bas fonds par les eaux, s'est étendu et nivelé comme une nappe délétère au-dessus de la nappe d'eau; sa présence a exigé de grandes précautions quand on a pénétré dans les travaux.

A mon arrivée, dans la soirée du 11 octobre, je mesurai la profondeur des eaux, qui était de 24 mètres au puits Terrèt, et 22m,20 au puits Sainte-Hortense; il était onze heures du soir; accompagné de M. Vidal, adjoint à la mairie de Bességes, Courroux, ingénieur des mines de Lalle, Marsaut et Roux, ingénieurs de la compagnie houillère de Robiac, nous fîmes une première et rapide inspection des lieux. L'eau tombait encore en masse considérable dans l'effondrement. Les câbles et les guides du puits Terrèt avaient été mis hors de service. Le puits Sainte-Hortense seul pouvait fonctionner. Je fis exécuter sur-le-champ une petite digue en maçonnerie pour détourner l'eau du ruisseau qui coulait dans la mine, j'ordonnai la reprise immédiate de l'épuisement par le puits Sainte-Hortense, et la remise en œuvre des attirails du puits Terrèt.

L'examen détaillé des plans fait par nous sur les lieux même, à la lampisterie de Lalle, et les renseignements fournis par l'ingénieur Courroux sur la disposition des chantiers dans la mine, ne nous laissèrent entrevoir sur le moment aucun espoir, et surtout aucune possibilité immédiate d'essayer un sauvetage.

On ne pouvait en effet pénétrer dans les galeries supérieures avant d'avoir épuisé les eaux, ni tenter des percements directs à partir du jour, dans l'incertitude où l'on était sur l'existence et la position d'ouvriers encore vivants.

Une circonstance providentielle vint nous permettre d'entreprendre des travaux utiles, et nous faire espérer d'arracher à la mort quelques victimes.

Le samedi, dans l'après-midi, les frères Pagès, dont le plus jeune était âgé de dix-huit ans, entrèrent dans une ancienne galerie dite Sainte-Barbe, pour écouter s'ils n'entendraient aucun bruit, aucun appel venant de l'intérieur. Le jeune Pagès avait aidé deux ans auparavant à relever le plan des travaux, et il pensait que les mineurs travaillant dans la couche Sainte-Barbe avaient pu se mettre à l'abri. Il frappa, écouta longtemps sur les parois de la galerie, et finit par distinguer le bruit à peine perceptible de coups qui répondaient aux siens. Un de ses camarades, Borne, mineur, alla avec les frères Pagès, et entendit comme eux. On vint aussitôt me prévenir. J'accourus dans la galerie avec MM. Marsaut, Marcillat et quelques autres personnes; j'y trouvai l'ingénieur Courroux qui frappait avec les maîtres mineurs Martin de Lalle et Mercier de Bességes; ils n'entendaient rien; nous écoutâmes à notre tour avec la plus grande attention. La réponse à nos coups était si faible et si incertaine, que nous n'osions pas espérer; néanmoins, sur l'affirmation positive des frères Pagès et de Borne, ouvriers éprouvés, j'étais décidé à faire entreprendre les travaux de sauvetage. Pour nous convaincre une dernière fois, nous fîmes sortir la plupart de ceux qui nous accompagnaient afin d'obtenir un silence absolu, et donnâmes un appel à coups de pic également espacés. L'oreille collée au charbon et retenant notre respiration, nous entendîmes aussitôt, avec une émotion profonde, des coups extrêmement faibles, mais précipités, rhythmés, en un mot le rappel des mineurs, qui ne pouvait être la répercussion du nôtre, puisque nous avions frappé à intervalles égaux. On comprendra facilement la faiblesse du son qui parvenait jusqu'à nous, lorsqu'on saura que les captifs, ainsi qu'ils nous l'ont dit après, frappaient avec les talons de leurs souliers, et que nous en étions séparés par un massif de charbon de plus de 20 mètres.

La compagnie des forges était dans l'impossibilité de

fournir à ce moment les moyens de sauvetage. La plupart des mineurs de Lalle avaient péri dans la mine, le reste était dispersé. Je fis un appel à M. Marsaut, ingénieur principal de la compagnie houillère de Robiac; lui et ses hommes se mirent aussitôt à notre disposition, sans attendre leur chef, M. Chalmeton, qui arriva à dix heures et se joignit à nous. Avec leur concours, celui des mineurs de Trélys et des ouvriers disponibles de la compagnie des forges de Bességes, le sauvetage fut entrepris à six heures du soir. Quelques minutes seulement après nous être convaincus qu'il existait dans la couche Sainte-Barbe des hommes vivants, les premiers coups de pic allaient porter l'espérance dans leurs cœurs et leur annoncer qu'on travaillait à leur délivrance.

La couche Sainte-Barbe a été exploitée et dépilée au-dessus de la galerie de ce nom, G, G (Pl. VI, *fig.* 1 et Pl. VII, *fig.* 2), ouverte sur la rive gauche de la Cèze, à 13^{m},86 au-dessous de l'orifice du puits Sainte-Hortense.

Cette galerie sert actuellement à l'écoulement des eaux des dépilages supérieurs.

Au-dessous de cette galerie on a réservé un massif de charbon de 30 mètres de largeur, mesuré suivant l'inclinaison de la couche, pour préserver les travaux inférieurs.

La couche a été recoupée par le travers banc général, à 80 mètres de profondeur, et dépilée jusqu'à ce niveau dans la partie nord; le traçage se poursuit dans la partie sud.

Il restait encore quelques piliers à prendre dans la partie nord; un chantier composé de trois hommes, Verger, Mouton et Thérond, y était installé; le massif est traversé par une remontée *ab*, servant de courant d'air et boisée (Pl. VII, *fig.* 2); elle est fermée en *a* par une vanne, et dans sa partie inférieure *b* elle est obstruée par des éboulements. Il existe en outre neuf remontées dans le massif, cinq du côté du courant d'air et quatre de l'autre; la longueur de ces remontées, creusées ainsi en plein charbon, varie

de 9 à 15 mètres. Leur orifice donne sur une galerie plate V, V. Les dépilages et les éboulements dépassent le courant d'air, obstruent l'entrée de la quatrième remontée, et s'avancent encore de quelques mètres dans la galerie plate; les trois dernières remontées sont seules accessibles. Cet état de choses n'a pu être connu qu'après le sauvetage, car cette partie de la mine était abandonnée depuis deux ans.

Nous pensions que les mineurs captifs avaient dû chercher un passage vers le courant d'air, mais le son était si faible qu'il était impossible de déterminer avec exactitude le point où ils se trouvaient. Comme d'ailleurs la galerie plate était inondée, il était évident qu'ils avaient dû chercher un abri dans une des quatre remontées situées avant le courant d'air. Je fis immédiatement mesurer les distances et prendre les directions pour établir depuis la galerie Sainte-Barbe quatre descentes marchant à la rencontre des quatre remontées. Nous ne pouvions compter sur l'exactitude absolue des directions assignées sur le plan aux remontées parce que l'entrée seulement avait été relevée, mais l'écart ne pouvait être considérable; et arrivés à une certaine profondeur, nous étions sûrs de percer en obliquant à droite ou à gauche. Nous comptions dans tous les cas sur un minimum de 20 mètres à traverser en descente, suivant une inclinaison de 45°, dans une couche de charbon de 1 mètre, et sur un maximum de 30 mètres pour percer jusqu'à la galerie plate, dans le cas où des obstacles imprévus nous empêcheraient de communiquer avec les remontées. Les remontées en descente, n°s 1, 2, 3 et 4, furent ouvertes le samedi 12 octobre, à six heures du soir. La galerie était heureusement munie d'une voie ferrée; des bennes furent amenées pour rouler les déblais; deux voies de garage et les plaques pour la manœuvre et le déchargement rapidement posées à l'orifice de la galerie.

Les descentes étaient menées sur 1 mètre à 1^{m},20 de

largeur; un seul piqueur était à l'avancement, travaillant avec toute l'énergie dont il était capable; le charbon était enlevé au fur et à mesure dans des corbeilles que se passaient les hommes des chantiers, et qui étaient versées dans la benne ou sur la sole de la galerie de roulage. Le piqueur était relayé dès qu'il ressentait la fatigue.

Dans la nuit du samedi au dimanche, l'abaissement de l'eau permet de commencer dans le courant d'air, à une distance de 25 mètres, une galerie plate *cc* (Pl. VII, *fig.* 2) marchant à la rencontre des remontées. Cette galerie doit être menée entre les éboulements et le charbon massif, afin d'aller plus vite, s'il est possible, et de rechercher s'il n'existe pas un passage tout frayé ou facile à ouvrir.

Dans la journée du dimanche 13, et dans la nuit suivante, les travaux se poursuivent avec ardeur, les descentes s'allongent, on augmente le nombre des hommes à chaque chantier, afin de former la chaîne pour remonter les déblais à la galerie de roulage.

Des lampes Davy sont fixées pour éclairer la galerie et les descentes; un service spécial est organisé pour remplacer les lampes, qui sont par précaution et bien que le grisou ne soit pas à craindre, rallumées au dehors. Un détachement de soldats de la garnison d'Alais et les gendarmes des brigades voisines font la police extérieure, et défendent les abords de la galerie contre l'importunité des curieux.

La température extérieure est très-élevée dans la journée, et s'abaisse beaucoup dans la nuit; le courant d'air, assez vif dans la galerie pendant la nuit, entre par l'orifice et sort par les vieux travaux supérieurs; mais dans la journée le courant devient inverse, et se ralentit. Le matin et le soir, pendant environ deux heures, au moment où le changement va se produire, l'aérage est faible, et le travail difficile dans les descentes; les lampes commencent à s'éteindre.

Les cinq chantiers n'ont pas avancé avec la même rapidité : les nos 1 et 3 marchent bien, le n° 2 présente un

charbon nerveux très-dur qui retarde beaucoup le travail. Le n° 4 arrive à un dérangement, qui fait disparaître la houille en rapprochant le toit et le mur; on perd l'espoir de rejoindre par cet ouvrage la quatrième remontée, car il est impossible, dans l'état de l'aérage, d'employer la poudre; on le poursuit néanmoins à tout événement, en suivant le dérangement dont l'épaisseur est estimée à 4 mètres environ.

Le cinquième chantier est poussé par cela même avec plus d'ardeur.

La galerie plate *cc* (Pl. VII, *fig.* 2) s'avance entre le charbon massif et les éboulements; l'air devient mauvais, les lampes s'éteignent souvent; depuis le commencement des travaux et pendant la journée du dimanche, aucun appel n'a répondu aux appels de nos mineurs; nous craignons d'arriver trop tard, nos travailleurs redoublent d'efforts.

Le lundi matin deux ventilateurs à bras sont posés au cinquième chantier; chaque ventilateur nécessite deux hommes, dont un de relai. Des tuyaux en fer blanc de 10 centimètres de diamètre, allongés par tronçons de 1 à 2 mètres, et lutés avec de la terre grasse, portent l'air à l'extrémité de la galerie plate; les lampes ne brûlent que devant l'orifice du tuyau, un service spécial est organisé au dehors pour les tuyautages.

La troisième descente a atteint 11^{m},60 de longueur; une traverse inclinée est prise sur la gauche pour aller recouper la troisième remontée, dans le cas où celle-ci aurait une longueur suffisante, tandis que la descente directe est poursuivie sans interruption; il y a alors deux chantiers au n° 3, l'air commence à manquer. On installe dans la galerie et sur un échafaudage disposé pour laisser passer les bennes un ventilateur à engrenage.

Dans la soirée de lundi, le travail devient extrêmement dangereux dans la galerie plate du cinquième chantier. On est arrivé au dérangement; des vides fermés par des blocs

de rocher éboulés et tenant à peine sur le mur glissant et incliné de la couche, l'impossibilité d'asseoir solidement les boisages, tout nous fait craindre pour la vie des hommes. Certain d'ailleurs que les captifs, dont on a récemment entendu l'appel, se trouvent dans la troisième ou la quatrième remontée, je fais arrêter les travaux de ce chantier, on porte un des ventilateurs à la troisième descente, et l'on continue néanmoins à lancer de l'air dans la galerie plate abandonnée.

A deux heures du matin on communique à la voix avec les prisonniers; ils disent : *Nous sommes trois;* les travailleurs comptent dès lors sur le succès et déploient une énergie rare. Par la traverse inclinée on se dirige vers la quatrième remontée; par le fond de la descente, en obliquant à gauche, on marche vers la troisième, où la probabilité de trouver les prisonniers paraît la plus grande.

La descente n° 2 avance lentement à cause de la dureté du charbon; par hasard elle se trouvait exactement dirigée vers la deuxième remontée. La descente n° 1 gagne de l'avancement; j'ai décidé qu'elle serait poussée jusqu'à 22 mètres de longueur, et qu'à partir de ce point, si elle n'a pas communiqué avec la première remontée, on prendra une traverse plate à droite ou à gauche. Ce travail a pour but d'arriver au percement, alors même que par la descente n° 3 nous laisserions la troisième remontée au-dessous de nous, et que les remontées, au lieu d'avoir 12 à 15 mètres de long, comme nous l'espérions, auraient seulement 9 mètres, comme le soutiennent quelques ouvriers.

Les chantiers présentent dans le jour du mardi comme ensemble, comme activité, comme harmonie, un spectacle curieux et plein d'intérêt. Dans le fond, des mineurs d'élite piquent le charbon d'une main fiévreuse, et se relèvent sans perdre une minute; au-dessus d'eux, une échelle d'hommes établit la communication entre l'avancement et la galerie de roulage, les déblais sont remontés; les corbeilles vides,

les outils, les tuyaux d'aérage circulent avec rapidité et sans confusion. Un maître mineur ou un chef de poste reste au fond pour faire suivre la direction indiquée; il pique à son tour comme un simple ouvrier pour ne pas gêner le travail, et vient fréquemment nous rendre compte de l'avancement.

Un service spécial surveille les ventilateurs, prépare les tuyaux, les coudes, lute les joints. Les difficultés sont grandes dans la journée du mardi à cause de la chaleur extérieure qui affaiblit l'aérage, c'est à peine si nous parvenons à fournir dans les chantiers l'air nécessaire à la combustion des lampes et à la respiration des hommes.

Dans la soirée du mardi, un ventilateur à gros tuyaux est placé à l'entrée de la galerie Sainte-Barbe; il conduira de l'air à la descente nº 1, longue déjà de 22 mètres et dépourvue d'air à l'avancement.

Les cris des prisonniers se font entendre sans cesse entre les deux chantiers de la descente nº 3. Ce sont les hommes de ces chantiers qui les premiers leur tendront la main. Aussi quel zèle, quelle ardeur! ils ont déjà fait deux postes et ne veulent pas quitter leur place; ceux-là seulement que leurs forces trahissent s'éloignent à regret pour ne pas ralentir le travail des autres.

Enfin à minuit, la traverse *l*, *l* (Pl. VII, *fig.* 2), de la troisième descente perce dans la quatrième remontée à la côte 160^{m},72; une bouffée de mauvais air éteint les lampes. On avance les tuyaux des ventilateurs, et la quatrième remontée est visitée rapidement; elle est obstruée par les éboulements vers la moitié de sa hauteur, et n'a pu servir de refuge à personne. On se retire aussitôt pour laisser reprendre le chantier de la descente, arrêté pendant quelques minutes. Aux premiers coups de pic, le charbon cède, la communication est établie, deux hommes vivants, Mouton et Thérond sont assis à l'extrémité de la remontée, à 2 mètres au-dessus de l'ouverture pratiquée. On les aide à descendre, puis à remonter

jusqu'à la galerie Sainte-Barbe, où ils sont reçus par le docteur Vidal, enveloppés dans des couvertures chaudes, reconfortés par quelques cuillerées de bouillon et de café, couchés sur des lits, et amenés doucement au dehors dans un silence absolu, recommandé pour leur éviter toute émotion. Ils sont de là transportés à l'hôpital des forges, où ils reçoivent les soins des médecins de la compagnie. Sur leur indication, on retrouve au bas de la remontée le corps de leur camarade Verger, qui n'a pu soutenir l'épreuve à cause de son âge et de sa mauvaise santé.

J'ai fait relever exactement et rapporter sur le plan n° 2 les travaux exécutés. La longueur totale des galeries ou descentes est de 112m,31. Le cube total des vides est de 147 mètres cubes. L'ouvrage en descente qui a percé dans la troisième remontée et qui n'a pas été interrompu un seul instant pendant les soixante-dix-huit heures de travail, a 22m,56 de longueur.

Cet avancement d'un seul chantier donne une mesure de l'activité déployée ; il aurait fallu environ un mois pour le faire dans les conditions de travail ordinaire.

Les travaux de sauvetage avaient duré du samedi soir 12 octobre à six heures du soir jusqu'au mardi soir 15 octobre à minuit, c'est-à-dire soixante-dix-huit heures.

Voici quelques détails recueillis de la bouche de Mouton et Thérond sur les circonstances de leur captivité.

Ils travaillaient eux et Verger au chantier de dépilage de la couche Sainte-Barbe ; ils entendent tout d'un coup arriver les eaux et se hâtent d'abandonner leur ouvrage, emportant seulement leurs lampes ; ils gagnent la galerie plate du niveau supérieur VV, et se réfugient dans la troisième remontée RR (Pl. VII, *fig.* 2), très-glissante et très-inclinée. Les eaux ferment presque aussitôt l'entrée de la remontée et dépassent le toit de la galerie plate. Thérond et Mouton se sont élevés jusqu'au sommet de la remontée. Avec leurs mains et les crochets de leurs lampes, ils creusent dans le schiste du sol

une petite planche pour s'asseoir. Verger est un peu au-dessous d'eux établi de la même façon. Ils se trouvent alors dans une cloche d'air soumise à une pression de trois atmosphères environ, la différence du niveau de l'eau dans la remontée et en dehors de la remontée a été de 20 mètres environ au moment de la crue; ils éprouvent des bourdonnements dans les oreilles, et la voix leur semble assourdie. Leurs lampes se sont éteintes, ils frappent fréquemment avec leurs souliers sur les parois de la remontée pour appeler du secours. Ainsi que je l'ai dit plus haut, cet appel ne fut entendu et constaté que le samedi, vingt-quatre heures après l'événement; alors seulement les captifs obtiennent une réponse et comprennent qu'on vient à leur délivrance; Verger, qui ne devait malheureusement pas revoir le jour, verse des larmes de joie. D'après les mesures prises dans les puits Terrèt et Sainte-Hortense, c'est seulement du dimanche 13 octobre au lundi 14 que l'ouverture de la remontée a dû être libre, et que la pression de l'air, après avoir graduellement diminué, est redevenue normale. Mouton, pressé par la soif, est descendu dans la galerie plate avec de l'eau jusqu'à la poitrine; il se dirige à tâtons vers la quatrième remontée, cherche inutilement un passage dans les remblais, et regagne sa place, guidé par la voix de ses camarades; le travail incessant qu'ils entendaient au-dessus de leur tête leur donne du courage; le jeune Thérond, âgé de dix-sept ans, cédait fréquemment au sommeil; il serait tombé sans le secours de Mouton, qui le soutient dans ses bras comme un enfant pendant de longues heures, et le préserve ainsi de la mort.

Dans l'après-midi de lundi, nous venions de placer au troisième chantier le ventilateur à engrenage, qui faisait beaucoup de bruit; Mouton et ses deux camarades se crurent perdus; ils pensaient que les eaux s'élevaient de nouveau, et, ignorant la sécurité qui leur était assurée par la compression de l'air dans la remontée, ils s'attendaient à

être noyés. Le malheureux Verger, asthmatique et accablé de fatigue, s'agitait sans cesse à sa place, malgré les recommandations de ses camarades. Enfin, épuisé, il roule au bas de la remontée, et tombe dans l'eau qui couvrait encore la partie inférieure de la galerie plate. Il a sans doute perdu connaissance avant ou pendant sa chute, car il n'a fait aucun mouvement et n'a pas poussé un cri. Thérond et Mouton sont glacés d'effroi et restent immobiles à leur place.

Le mardi 15 octobre à 2 heures du matin nous communiquons à la voix avec les deux mineurs vivants; ils donnent leurs noms et disent qu'ils sont trois sans annoncer que Verger était déjà mort.

Mouton nous a rapporté qu'il était descendu une seconde fois dans la galerie pour boire et qu'il avait touché en buvant le corps de Verger, puis qu'il était remonté à sa place.

La fatigue et le mauvais air commençaient peu à peu à agir sur lui; sa tête s'alourdissait, il prononçait des paroles incohérentes. « *Viens, sortons d'ici* » *disait-il.* Le jeune Thérond avait peur en entendant son camarade parler ainsi; pour le soulager il lui propose de venir boire et l'aide à descendre au bas de la remontée; ils touchent encore en passant le corps de Verger; l'eau s'était retirée jusqu'au sol de la galerie et remplissait la remontée inférieure; Mouton pour se désaltérer avait le pied sur un bois, Thérond en voulant s'avancer un peu au-delà, perd l'équilibre, tombe et n'est arrêté qu'avec la plus grande peine par Mouton; c'est la seconde fois qu'il lui doit la vie. Ils regagnent difficilement leur place qu'ils ne veulent plus quitter afin de ne pas jeter l'indécision parmi les travailleurs, et aussi pour se mettre à l'abri du froid, car le haut de la remontée était sec et chaud.

Deux heures après environ, d'après eux, nos travaux perçaient dans la remontée un peu au-dessous de l'endroit où ils étaient, et les bras de leurs camarades les ramenaient

vers le jour ; c'était le mardi soir à minuit. Mouton sanglottait, Thérond était très-excité, mais ils n'inspiraient aucune inquiétude, et le lendemain ils étaient dans l'état le plus satisfaisant.

Pendant leur séjour dans la mine ces deux hommes avaient perdu la notion du temps ; ils n'ont pas eu faim, et ne pensaient pas être restés plus de vingt-quatre heures (*).

Les travaux de sauvetage terminés dans la couche Sainte-Barbe, notre attention s'est reportée entièrement sur les autres travaux entrepris simultanément avec ceux de Sainte-Barbe dans le but d'aller à la recherche des victimes.

Un petit puits est commencé en C (Pl. VI, *fig.* 1) dans la couche de Tri-de-Chaux, pour aller explorer la partie sud de cette couche, où se trouvait un chantier d'avancement dans la traverse supérieure.

(*) J'accomplis un devoir bien doux en nommant ici les hommes dont le concours intelligent et dévoué a assuré la réussite des travaux.

MM. Chalmeton, Marsaut, Roux et Veillon, ingénieurs de la compagnie houillère de Robiac, ont communiqué à leurs maîtres mineurs la généreuse ardeur qui les animait. Delenne, géomètre, Mercier, Brossart, Lessaut, Trouvé, maîtres mineurs de cette compagnie, ont mérité les plus grands éloges.

M. Calas, directeur des houillères de Trélys, nous a fraternellement aidé de ses conseils et de son expérience.

Les maîtres mineurs de Trélys, Delenne frères, Chamboredon, Borie, Naudet, ont pris une noble part aux fatigues et aux périls de leurs camarades.

Les ouvriers de Bességes, de Trélys et des mines de fer de la compagnie des forges, ont montré un zèle, une habileté, un courage et une discipline admirables.

Qu'il me soit enfin permis de témoigner ici au nom des ingénieurs, des maîtres mineurs et des ouvriers de Bességes notre respectueuse reconnaissance à M. le préfet du Gard et à M. le sous-préfet d'Alais pour la sollicitude éclairée et sympathique qu'ils ont montrée envers les travailleurs et envers les familles des victimes. Sans cesse présents sur les lieux, animant tout le monde par leur exemple et leurs paroles, ils ont été les dignes interprètes de l'intérêt que S. M. l'Empereur a témoigné à la population de Bességes dans cette douloureuse circonstance.

Un autre puits est commencé en E, sur la même couche pour donner passage dans la partie de cette couche où se trouvaient plusieurs chantiers, mais il est le lendemain remplacé par une descenderie E' à cause des dangers qu'a présentés le creusement du puits E. Terminée au bout de quelques jours cette descenderie nous a été très-utile ; elle nous a donné un accès facile et sûr pour pénétrer dans les niveaux émergés et a contribué à l'aérage.

Un autre puits I est entrepris dans le grès qui forme le toit de la grande couche n° 2 pour donner une entrée dans les travaux de la partie nord des couches n° 1 et n° 2 très-rapprochées en ce point. Ce puits aura 25 mètres de profondeur jusqu'au mur de la couche n° 1.

Comme ce travail sera nécessairement très-long (il faut foncer à la poudre jusqu'à 18 mètres de profondeur), nous faisons pratiquer à côté un trou de sonde pour arriver plus rapidement à communiquer avec les victimes s'il y en a dans cette partie de la mine. Ce sondage commencé le mercredi 16 octobre est rapidement conduit par M. Dupriez, ingénieur aux mines de Molières. L'avancement dans du grès houiller est de 15 à 20 centimètres par heure environ.

Une fendue N est ouverte dans les anciens travaux de la Grande-Couche n° 1 ; elle est aussi destinée à fournir une nouvelle issue pour visiter les travaux et les aérer au fur et à mesure que les eaux baisseront.

Il faut s'attendre à trouver des éboulements dans la mine, et se mettre en mesure de pénétrer par plusieurs points à la fois.

Dès le premier jour notre attention s'est portée sur les moyens d'épuisement. Le 11 octobre à 11 heures du soir le niveau de l'eau dans le puits Sainte-Hortense était de 22^{m},20. C'était le seul puits en état de fonctionner, et l'épuisement commença aussitôt par deux bennes de 25 hectolitres.

Le puits Terrèt avait eu ses guidages endommagés lors de l'événement ; la benne était restée accrochée en route, des bois avaient été soulevés par les eaux.

Les réparations furent immédiatement commencées, et l'un des guidages mis en état de service dans la journée du dimanche 13 octobre. Le second guidage le fut peu de jours après, et l'épuisement se fit à 2 bennes tenant une moyenne de 15 hectolitres.

Le puits incliné de Saint-Henry était malheureusement en réparation ; en temps ordinaire il aurait fallu 15 à 20 jours pour remonter la machine, poser les câbles et mettre en train. Ce travail a été fait en quatre jours ; le mardi 15 octobre l'épuisement a commencé et n'a plus été interrompu.

Il y a eu seulement quelques arrêts momentanés, nécessités par des accidents (*).

L'ensemble de ces travaux est conduit avec toute la célérité et toutes les précautions désirables. Les mineurs travaillant aux puits ou fendues menés du jour, sont attachés avec des cordes dans la crainte que le terrain ne s'effondre sous eux à cause des éboulements qui ont pu se produire à l'intérieur.

Dans la nuit du 20 au 21, le trou de sonde arrive à la profondeur de 18 mètres, dans une crevasse qui communique avec les travaux souterrains de la couche n° 2, le rocher traversé est tout fendillé.

L'air qui s'échappe par le trou de sonde sent très-mauvais.

On appelle, on agite inutilement une sonnette suspendue par un cordon. En pénétrant plus tard dans cette partie de la mine on a reconnu qu'elle avait été totalement submergée et que l'air comprimé s'était échappé par les fissures du toit. Le puits foncé à côté du trou de sonde ne peut plus dès lors être considéré comme un travail de sauvetage, mais il est continué pour donner un moyen d'aérage et d'accès dans les travaux.

(*) Les réparations du matériel ont été confiées dès le principe à M. Chavigny, ingénieur de la compagnie des forges ; cette partie du service n'a rien laissé à désirer.

Le trou de sonde est également continué pour arriver jusqu'au mur de la couche n° 1 après avoir traversé la couche n° 2, et donner des indications utiles pour le fonçage du puits.

Le 23 octobre, le puits a atteint $10^m,45$ de profondeur et le trou de sonde 25 mètres.

La fendue N a $19^m,50$ de profondeur ; commencée dans la couche n° 2, on a passé par un petit travers banc de 3 mètres, dans la couche n° 1, très-rapprochée de la première.

Le même jour on a pu commencer à visiter quelques parties émergées du niveau de 50 mètres par la descenderie E' du Tri-de-Chaux. On trouve l'entrée de cette couche dans le travers banc de 50 mètres, complétement obstruée par les terres qui ont coulé de l'effondrement. Un poste est installé à ce point pour rétablir le passage.

Deux ouvriers de la compagnie de Robiac et Meyrannes, Maury et Brun, travaillaient à ce poste dans la soirée du 24 vers 9 heures et demie, lorsqu'ils entendirent des cris poussés dans la partie de la mine dont ils étaient séparés par les remblais. Ils crurent qu'un accident était survenu aux hommes occupés à réparer la descente de la lampisterie et remontèrent promptement par la fendue E' des Muriers pour donner l'alarme à l'ingénieur de service M. Mérieux.

Celui-ci me fit prévenir aussitôt qu'un accident était arrivé.

Je descendis rapidement au bas du passage de la lampisterie où je trouvai les ouvriers et où j'appris que non-seulement il n'était pas arrivé d'accident, mais que trois hommes vivants se trouvaient dans une galerie nouvellement émergée et demandaient du secours. L'heureuse nouvelle s'était répandue avec la rapidité de l'éclair ; M. l'inspecteur général des mines Fournel, M. le sous-préfet d'Alais, les directeurs et les ingénieurs de la compagnie des forges, les ingénieurs de la compagnie houillère de Robiac, leurs

maîtres mineurs et bon nombre d'ouvriers s'étaient hâtés d'accourir.

Le plan du sauvetage était très-simple ; il n'y avait qu'à aller jusqu'aux malheureux mineurs épargnés par la mort, et les transporter au dehors par le passage de la lampisterie, mais il était nécessaire d'avancer avec de grandes précautions à cause du mauvais air et du mauvais état du passage de la lampisterie à sa partie inférieure. En effet depuis la plaque de la couche Saint-Henry, à l'entrée du travers banc et sur une longueur de 7 à 8 mètres, le chemin avait été emporté et remplacé par une flaque d'eau dont on ignorait la profondeur. Les bois avaient été entraînés, et à cause du grand vide qui s'était formé, des blocs de rocher menaçaient de toute part. Le poste de Maury et Brun et de leurs camarades, Clément, Olivier, Terme et Trossevin, ouvriers de la compagnie des forges, réclamaient l'honneur d'aller délivrer ceux dont ils avaient eu le bonheur d'entendre les premiers l'appel.

Je les fis descendre sous la conduite de M. Mérieux et du maître mineur Trouvé ; et je les fis suivre d'un poste de boiseurs pour assurer la retraite, tandis que nous installions rapidement dans la descente les ventilateurs et les tuyaux nécessaires pour lancer de l'air et entretenir la combustion des lampes sans lesquelles il était impossible d'avancer. Arrivés au bord du trou qui les séparait du travers banc, les hommes purent causer avec deux des prisonniers qui se trouvaient à l'entrée de la galerie sud de la couche n° 1. Un troisième était resté en arrière. Le maître mineur Trouvé attaché solidement à une corde descendit dans l'eau qu'il traversa hardiment, et s'approcha des deux hommes nommés Privat et Hours, qui se cramponnaient à lui le priant de les faire sortir ; il les rassura et les couvrit de ses vêtements ; pendant ce temps un passage provisoire était établi ; des boiseurs consolidaient les parties les plus urgentes et tous les objets nécessaires arrivaient. Privat et

Hours plongés dans des couvertures chaudes furent remontés à la lampisterie, placés dans des lits et transportés à l'hôpital de la forge.

Restait le troisième prisonnier, un enfant que ses camarades Privat et Hours avaient laissé enterré dans le charbon menu (nous verrons plus bas dans quel but) dans la remontée même où ils s'étaient abrités pendant l'inondation. Il fallait pour aller le chercher, parcourir le travers banc et suivre l'allongement de niveau dans la couche n° 1 jusqu'à la remontée SS sur une longueur de 50 mètres au moins, les lampes ne brûlaient pas, et dans la crainte de trouver l'acide carbonique en quantité suffisante pour faire périr nos hommes, nous dûmes installer un ventilateur à l'entrée de la lampisterie et amener l'air par de gros tuyaux d'abord, puis par des tuyaux de petit diamètre, dans le travers banc et dans la galerie de niveau de la couche n° 1. Pendant qu'on avançait ainsi, M. Chalmeton et le géomètre Bernard coururent à l'hôpital de la forge. Privat leur expliqua très-clairement, la place où ils avaient laissé leur camarade.

Bernard redescendit aussitôt dans la mine et arriva avec M. Courroux au bas de la remontée où se trouvait Marius qui répondait à leur appel. N'écoutant que son désir d'arriver le premier, M. Courroux monta sans lampe dans la remontée et prit entre ses bras Marius, qui l'embrassait en pleurant ; il le descendit doucement aidé de Bernard, jusqu'à la galerie de niveau, où se trouvaient tous les secours nécessaires. Marius fut remonté à la lampisterie et transporté à l'hôpital auprès de ses camarades. La même salle réunissait alors les cinq ouvriers retirés vivants des mines de Lalle. Privat, Hours et Marius étaient demeurés dans la mine depuis le vendredi 11 octobre jusqu'au vendredi matin 25 ; ils avaient passé quatorze jours dans la mine et treize jours sans aliments.

Nous avons recueilli de leur bouche les renseignements suivants :

Hours et Privat mineurs travaillaient vers l'extrémité de la couche n° 1 dans un dépilage. Marius Joseph était leur rouleur. Celui-ci en ramenant sa benne vide au chantier leur dit que l'eau entrait dans la mine, et presque aussitôt ils la virent arriver ; ils prirent alors une remontée et s'engagèrent dans le couloir à remblais pour gagner le niveau de 50 mètres et le travers banc de la lampisterie ; le couloir à remblais était obstrué ; Marius parvint à passer le premier en faisant une trouée par un effort désespéré, et ses deux camarades passèrent après lui ; arrivés au niveau de 50 mètres ils furent suivis par l'eau et n'eurent que le temps de grimper dans la remontée S8 qui leur offrait un abri très-commode, parce qu'elle se terminait en galerie presque horizontale ; leurs lampes avaient été éteintes par le courant d'air ; ils se couchèrent par terre et entendirent l'eau monter ; elle gagna même en hauteur pendant plusieurs heures, nous ont-ils affirmé, et ils furent obligés à deux ou trois reprises de se reculer, fait assez difficile à expliquer, car le niveau des eaux dans les puits a baissé naturellement et assez rapidement d'une dizaine de mètres après l'inondation ; ils entendaient un vacarme effrayant dans la mine provenant des éboulements du mouvement des eaux et des explosions de l'air comprimé. Privat avait une montre à répétition qu'il faisait sonner à plusieurs reprises, mais qui s'arrêta le samedi matin à 2 heures 3/4.

Ces hommes se trouvaient alors comme leurs camarades Mouton et Thérond dans une cloche d'air comprimé par une différence de niveau d'eau de 32 mètres ce qui donnait une pression totale de $4^{atm},2$ au début ; mais au bout de quelques heures cette pression était réduite à $3^{atm},2$ par l'abaissement des eaux, et diminua dès lors jusqu'à la pression ordinaire atteinte le 21 octobre par l'épuisement.

Le volume de l'espace rempli d'air comprimé a été le premier jour de 60 mètres cubes.

Privat et Hours se tenaient serrés les uns contre les

autres pour se préserver du froid; ils pouvaient étancher leur soif, l'eau arrivant d'abord à leurs pieds; plus tard ils la puisaient dans une botte attachée au bout d'une corde. Ils entendaient le bruit des bennes d'épuisement plongeant dans l'eau aux puits Sainte-Hortense et Saint-Henry, et comptaient par les courts instants d'interruption les changements de poste; ils ont pu ainsi se faire une idée assez exacte du temps écoulé, qu'ils ont évalué à quinze jours; ils avaient essayé de manger du bois de pin pourri émietté dans de l'eau, et avaient mordu leurs courroies de cuir. Cependant, pouvant boire à leur soif, ils n'ont pas connu les horribles souffrances de la faim, et étaient, le jour de leur sortie, pleins de force et de courage; ils auraient certainement vécu encore au moins dix jours.

C'est dans la journée du lundi 21 octobre que la partie inférieure de la remontée a dû se découvrir, et que l'eau a commencé à s'abaisser dans le niveau de 50 mètres; Marius se hasarde alors à descendre dans l'eau; il suit la galerie à tâtons, nageant ou se tenant aux parois; il arrive au travers banc et se dirige vers la descente de lampisterie, ignorant que le passage a été coupé par les eaux; il tombe dans le trou qui est plein d'eau et se raccroche à un rail; épuisé, transi de froid, ayant perdu ses habits, il parvient à regagner le travers banc et la galerie de la couche n° 1; il remonte auprès de ses camarades, qui l'enterrent dans le charbon menu et se couchent sur lui pour le réchauffer; on l'a retrouvé dans cette position. Privat et Hours descendent peu après dans la galerie, ils entendent frapper les boiseurs et viennent jusqu'au travers banc, où Privat appelle du secours; Maury et Brun les entendent, quelques heures après ils étaient sauvés tous les trois.

Ce sauvetage, exécuté si heureusement, montre que dans certaines conditions favorables de pression et de température, avec les facilités d'étancher leur soif, des hommes peuvent vivre fort longtemps, et qu'on a toute latitude

pour faire les travaux nécessaires à leur délivrance (*).

Le fait suivant n'est pas moins instructif et indique nettement au delà de quelle limite de pression les hommes ne peuvent vivre, lorsque d'ailleurs la chambre d'air comprimé où ils sont enfermés présente certaines conditions défavorables.

Dans la matinée du 2 novembre, nous avons pu pénétrer dans un niveau intermédiaire de la couche Tri-de-Chaux, à 60 mètres de profondeur au-dessous de l'orifice du puits

---

(*) Nous citerons à ce sujet le procès-verbal suivant adressé le 19 octobre 1861 à M. le baron Dulimbert, préfet du Gard, par M. le directeur gérant de la société anonyme des charbonnages de la Haye; les ouvriers dont il est fait mention se sont trouvés dans des conditions presque identiques à celles qui ont préservé les mineurs Thérond, Mouton, Hours, Privat et Marius; et ils ont été délivrés après 24 jours.

Déclaration qui mérite l'attention des bons chrétiens.

Le premier *aoust saise cent huitante quatre*, *comparurent* par devant nous, la haute cour et justice de la franche baronie de Herstat, Guilleaume, Gilbert, Nicolas et Louis Haméride frères et Gérard Radoux, lesquels étant requis par le sieur Pierre Isaac Drossart de la susdite baronie de dire et déclarer la pure et sincère vérité, touchant le laps de temps qu'ils ont été détenus et environnés d'éarves (eaux) dans la fosse et houillère appelée Crevecous, extante en la Réalle cette juridiction, ont dit et déclaré cela avoir arrivé en la forme et manière suivante, savoir que le quatorzième jour de février étant devallez (approfondis) dans la dite houillère qui était de la profondeur de vingt et une toises (42 mètres), environ les deux heures après minuit, et y travailler jusqu'aux environs des huit heures du matin, à laquelle heure Jaspar Radoux leur compagnon ayant percé à des vieux ouvrages remplis d'earves (eaux) de la fosse partenante à Gérard Godin et autres, causa un tel débordement qu'jcelui en fut au même instant submergé, et les dits comparants n'ayant d'autre recours que de se sauver sur une montée là, où ils ont été détenus depuis le dit quatorzième do février jusqu'au neuvième mars en suivant aux huit heures du matin qui font *vingt-quatre jours et six heures* pendant quel temps ils ont prié et réclamé Dieu, la Vierge et tous les saints à cause qu'ils n'espéraient d'en jamais sortir, tant pour les grandes froidures, que à cause qu'ils n'avaient à manger, oultre qu'il n'y avait la moindre

Sainte-Hortense; il y avait dans ce quartier beaucoup de mauvais air; dans un des chantiers d'avancement nous avons trouvé le corps de deux mineurs qui travaillaient à ce chantier au moment du sinistre; l'un d'eux était couché sur l'échafaudage établi au front de taille, à cause de la hauteur de la galerie; l'autre était assis par terre, adossé contre le mur de la couche, et tenant un manche d'outil à la main. Ces deux hommes n'ont point été noyés, car à cause d'une légère inclinaison de la galerie et des inégalités du toit, ils se sont trouvés dans une cloche d'air comprimé sans issue, et ont dû périr par asphyxie; le volume d'air était cependant (mesuré d'après les traces laissées par l'eau sur les parois) de 31 mètres cubes; mais comme cet air devait renfermer une proportion notable d'acide carbonique, et qu'il s'est trouvé soumis d'ailleurs à une pression de six atmosphères, il est probable que ces deux hommes n'ont survécu que peu d'instants à la catastrophe. Nous avons remarqué en effet que l'espace occupé par l'air avait une longueur de 17 mètres environ dans le

---

clarté, pendant lesquelles prières le dit Gilbert senti plusieurs fois quelque chose qui le touchait et au même temps, y celui se trouvait réchauffé, même sentait que les pierres l'enlevaient et après ce rencourageait ses compagnons en leur disant « courage mes camarades nous sortirons, » comme aussi ils grattèrent avec leurs mains le die du fond (le mur de la couche) où ils étaient et firent une petite fossette qui se remplit d'earve (eau) de laquelle ils boirent quantité de fois, et au même temps yceux se trouvaient réfectionnés et reforcés, pendant quoi quantité de bons gens ont travaillé à faire décharger et découler ladite earve (eau) l'espace de huit jours, ont recommancé avec l'appui des maîtres de la fosse dite Xhufualle, nonobstant qu'ils n'espéraient et ne croyaient de les avoir en vie lesquelles travailles les dit comparant ont apris après leur délivrance, ce qui nous a aussi apparu et étant délivrés comme dit est yceux dits comparans ne croyaient d'y avoir été retenus que huit à neufs jours.

Signé : J. P. Delhessalle.

Pour copie conforme, signé : Robins.

sens de la galerie, mais peu de hauteur, et que la séparation de l'air respirable et de l'acide carbonique n'a pu se faire comme dans une remontée. Les corps étaient dans un état de décomposition avancée; les médecins ont fait remonter la mort certainement à plus de quinze jours, et très-probablement au jour même de la catastrophe.

Il est très-important de noter qu'une profondeur de 15 mètres correspondant à une atmosphère et demie de pression de plus, et une forme particulière de la cloche d'air, étendue dans le sens horizontal et déprimée dans le sens vertical, ont suffi pour faire périr ces hommes, tandis que Privat, Hours et Marius avaient parfaitement résisté. En supposant même, ce qui a paru inadmissible à tous ceux qui ont pu apprécier la situation, que la mort remontât seulement à quinze jours, ils auraient cessé de vivre le 18 octobre, tandis que le 25 les autres étaient retrouvés pleins de vie. Ces deux hommes sont les seuls, avec Verger et ceux que nous avons retirés vivants, qui n'aient pas été noyés au moment de la catastrophe. En supposant, contre toute probabilité, qu'ils aient pu résister quelques heures ou même quelques jours à une compression d'air aussi forte et à l'acide carbonique, très-abondant dans cette partie de la mine, il n'y avait aucune possibilité de leur porter secours, puisque le niveau de 60 mètres n'a été émergé que le 28 octobre.

L'épuisement des eaux de la mine a été dès le premier jour entrepris avec tous les moyens dont on pouvait disposer. C'est à l'activité imprimée à cette partie du service et aux soins dont elle a été l'objet, qu'il faut attribuer le rapide asséchement du premier niveau et le salut des trois mineurs dont nous avons raconté la délivrance.

Le travail de l'épuisement a donné lieu aux observations suivantes :

Depuis le 12 octobre, jour où il a été entrepris, jusqu'au 14, les occupations du premier sauvetage nous ont fait né-

gliger de tenir compte de la quantité d'eau extraite par le puits Sainte-Hortense, qui fonctionnait seul.

	mèt. cubes.
On peut l'évaluer à environ 800 mètres cubes par poste de douze heures soit en totalité 4.000 mètres cubes, ci.	4.000
Pendant la première période de l'épuisement comprenant du 14 octobre au 15 novembre et correspondant à l'asséchement complet du niveau de 80 mètres, la quantité totale d'eau extraite s'est élevée à 131.041 mètres cubes, ci.	131.041
Pendant la seconde période où le puits Terrèt a fonctionné seul, la quantité totale a été de 22.281 mètres cubes, ci.	22.281
Total.	157.322

Nous avions évalué au début à 200.000 mètres cubes la quantité d'eau qui avait pu entrer dans les mines de Lalle, sous toute réserve des remblais qui avaient pu être charriés par les eaux et des espaces restés vides par la compression de l'air. La quantité considérable de remblais entraînés dans la mine et l'existence constatée de remontées où les eaux n'ont pas pénétré, indiquent que notre évaluation ne s'écartait pas trop de la vérité.

La première période de l'épuisement correspondant à l'asséchement du niveau de 80 mètres, a duré du 14 octobre au 15 novembre suivant. Elle nous permet de comparer trois modes d'élévation des eaux, et cette comparaison peut s'établir dans des termes assez précis pour la rendre instructive.

En effet, les orifices des trois puits Saint-Henry, Sainte-Hortense et Terrèt sont, à peu de chose près, au même niveau, et l'épuisement par ces trois puits communiquant entre eux, s'est fait à des profondeurs sensiblement égales. Les trois machines sont de la même force (50 chevaux), et ont consommé le même combustible.

Le puits Saint-Henry est incliné; l'épuisement s'y est fait par des wagons-bennes de 35 hectolitres, coulant sur des rails inclinés à 45 degrés.

Le puits Sainte-Hortense est vertical, non guidé; l'épuisement s'y est fait par des bennes de 25 et (seulement les cinq derniers jours) de 30 hectolitres, munies d'une soupape de fond et venant se poser à la recette du jour sur des ponts mobiles en bois; les câbles d'extraction sont plats et en chanvre.

Le puits Terrèt est vertical et guidé. La capacité moyenne des bennes a été de 15,19 et 25 hectolitres. Ces bennes sont à soupape et se vident à la recette par une ouverture latérale à la partie inférieure, sans qu'il soit nécessaire de les poser sur un pont.

L'extraction totale du puits Sainte-Hortense a été, depuis le 14 octobre jusqu'au 15 novembre, de 51.783 mètres cubes. La plus forte extraction de douze heures a été de 1.015 mètres cubes, correspondant à 406 bennes, élevées d'une profondeur de 39^{m},86; l'épuisement a marché très-régulièrement, le travail moyen a été de 809 mètres cubes tirés en douze heures, de la profondeur de 59^{m},30.

L'extraction totale du puits Saint-Henry pendant la même période a été de 38.466; la plus forte extraction de douze heures a été de 950 mètres cubes, correspondant à 271 bennes, élevées d'une profondeur d'eau de 79^{m},32. Mais ce résultat est exceptionnel et n'a pu être obtenu qu'une fois, il dépasse très-notablement les chiffres du rendement journalier ordinaire.

Le travail a été, du reste, un peu irrégulier pour ce puits; il y a eu plusieurs arrêts par suite de déraillements, ou de chutes de bennes par rupture d'attelage. Quelques-uns de ces accidents provenaient d'obstacles fortuits, bois, rochers éboulés; mais le plus souvent ils résultaient du système d'épuisement lui-même et des dispositions nécessitées par le remorquage des wagons-bennes sur des rails très-inclinés. Le travail moyen a été de 620 mètres cubes extraits en douze heures, à la profondeur de 59^{m},30.

Au puits Terrèt, l'extraction totale a été de 40.792 mètres

cubes. La plus forte production de douze heures a été de 928 mètres cubes, correspondant à 489 bennes, et à une profondeur de 53m,10. Le travail moyen par douze heures, rapporté à la même profondeur de 59m,30, est ressorti à 659mc,3.

Ce travail est inférieur à celui du puits Sainte-Hortense, mais il faut tenir compte de ce fait que pendant plus de la moitié du temps les bennes du puits Terrèt n'ont contenu que 15 et 19 hectolitres, tandis que celles du puits Sainte-Hortense contenaient 25 hectolitres.

Le travail a été en outre interrompu quelquefois ou ralenti pour enlever quelques obstacles qui se trouvaient dans l'intérieur du puits.

Nous estimons que dans des conditions égales le travail du puits Terrèt aurait dépassé celui du puits Sainte-Hortense, parce que le guidage permet de manœuvrer plus rapidement. Un registre d'épuisement a été tenu jour par jour pour chaque puits.

Nous avons rapporté ci-dessus le travail à la profondeur moyenne de 59m,30 pour chaque puits.

Pour les puits Sainte-Hortense et Saint-Henry, la profondeur la plus voisine figurant sur le registre de l'épuisement est 58m,61, pour laquelle le travail a été comme suit :

Ste-Hortense.	820 mèt. cubes.	Écart de la moyenne	(809mc)... + 11mc.
St-Henry. . .	622 *id.*	*id.*	(620mc)... + 2mc.

Pour le puits Terrèt, la cote la plus rapprochée est 59m,46, pour laquelle le cube extrait était de 855 mètres cubes, donnant, avec la moyenne (659mc,3), un écart de + 195mc,7.

L'écart est très-faible pour les puits Sainte-Hortense et Saint-Henry, mais il est très-considérable pour le puits Terrèt; cela tient à l'irrégularité du travail dans ce dernier puits, irrégularité due à certains embarras peu graves dans la première période de l'épuisement, mais qui sont devenus très-sérieux dans la dernière période, lorsque ce puits a

fonctionné seul pour assécher les parties de la mine, situées au-dessous du niveau de 80 mètres. Il s'est produit en effet alors de nombreux accidents dans les chaudières, dans la machine et dans les divers attirails qu'on était obligé de surmener, et c'est avec assez de peine qu'on a pu mener le travail à bonne fin.

Il ressort de l'examen du registre d'épuisement et des observations ci-dessus, que l'effet utile le plus faible a été produit par le puits Saint-Henry, dans lequel l'épuisement a été effectué par des wagons-bennes coulant sur des rails inclinés à 45 degrés.

La moyenne de l'épuisement pendant la première période a été, pour l'ensemble des trois puits, de 2.030 mètres cubes par douze heures, extraits de la profondeur moyenne de $59^{m},30$, par trois machines de 50 chevaux et avec des bennes.

Ce résultat doit être considéré comme très-satisfaisant; il est très-utile à noter comme indication de rendement pratique des machines et des bennes dans tous les cas semblables.

Le mètre cube d'eau épuisé est revenu à $0^{f},37$, fournitures et réparations comprises; mais il ne faut pas oublier que l'on a cherché avant tout, dans le premier mois, à marcher le plus rapidement possible, et que la compagnie, si prompte et si généreuse dans les secours pécuniaires qu'elle a assurés aux familles des victimes, ne s'est jamais préoccupée de la dépense des travaux, tant qu'il y a eu des hommes à sauver ou des victimes à retirer des profondeurs de la mine.

RAPPORT

SUR UN FOYER FUMIVORE INVENTÉ PAR M. PALAZOT.

Par M. LINDER, ingénieur des mines.

Les établissements à vapeur dont les chaudières sont chauffées à la houille présentent généralement le grave inconvénient de produire une fumée abondante qui en rend le voisinage incommode, souvent même nuisible.

Le système fumivore de M. Palazot, qui fait l'objet de ce rapport, remédie complétement à cet inconvénient.

Ce système consiste à mélanger avec de l'air les gaz du foyer, à leur sortie de la grille, et à brûler le mélange dans un milieu surchauffé. Il repose donc sur des principes connus depuis longtemps; mais l'application, telle que l'inventeur l'a conçue et réalisée, est aussi ingénieuse que simple, et, à ce titre, elle mérite d'être connue.

Les *fig.* 2, 3, 4, Pl. VI, représentent l'une des dispositions du foyer dont il s'agit. Une fente étroite A pratiquée dans toute la largeur de l'autel, à quelques centimètres en arrière de la grille, laisse arriver dans la flamme, perpendiculairement à sa direction, un courant d'air extérieur, que le chauffeur peut régler à volonté au moyen du registre B placé au fond du cendrier. Une voûte en briques C couvre l'autel au-dessus de l'orifice A de la prise d'air; le vide qui existe entre la voûte et la chaudière et par lequel, s'il n'était fermé, passerait une partie du courant gazeux, est bouché à l'arrière par un petit mur G en briques réfractaires.

Cette disposition ne peut être appliquée dans tous les cas : par exemple, dans celui de chaudières à bouilleurs réchauffeurs, placés en contre-bas de la grille, dans le prolongement du cendrier; la prise d'air ne pouvant alors s'établir dans l'autel, on la dispose soit sur le devant de la grille (Pl. VII, *fig.* 4, 5, 6), soit dans la porte même du foyer.

Lorsque le feu est convenablement conduit, la fumivorité du foyer Palazot est très-satisfaisante. Dans les conditions les plus défavorables, celle d'une marche à feu très-bas, dans un foyer d'un faible tirage, la fumée qui se produit quelquefois n'est que de

courte durée, d'une intensité au plus égale à celle d'un foyer domestique ordinaire chauffé au bois, et ne présente par conséquent nul inconvénient. En général, la fumée est brûlée d'une manière d'autant plus complète que le tirage est plus actif et le foyer plus échauffé.

Le tableau ci-dessous donne les moyennes de nombreuses observations de fumivorité sur les foyers de divers établissements.

NATURE de la fumée émise par la cheminée.	DURÉE MOYENNE de la fumée par heure.		OBSERVATIONS.
	Feu bas.	Feu vif.	
	Minutes.	Minutes.	
Fumée intense incommode.	»	»	Toutes les expériences de fumivorité ont été faites avec des houilles très-fumeuses d'Anbin, de Newcastle, du Sunderland, etc.
Fumée faible sans incommodité.. .	8	2	
Fumée nulle.	52	58	
Totaux.	60	60	

Les expériences dont ce tableau résume les résultats ont démontré que, dans chaque cas particulier, il existe entre les divers éléments du foyer fumivore des relations parfaitement définies, qui correspondent à la combustion la plus complète des gaz du foyer et à la moindre consommation de combustible. Ces relations, telles que des expériences spéciales ont permis de les déterminer, peuvent se résumer de la manière suivante :

1° La voûte doit en général être prolongée en avant de l'autel, de manière à couvrir une partie de la grille. Ce prolongement, qui varie en raison inverse de l'intensité du tirage, ne doit jamais dépasser 14 centimètres; il peut être annulé avec certaines dispositions spéciales du foyer ayant un appel d'air très-actif; mais dans les conditions de tirage ordinaires, il convient de lui donner une longueur de 8 à 10 centimètres.

En ce qui concerne la longueur absolue de la voûte, elle varie, suivant l'énergie du tirage, de 20 à 40 centimètres, lorsque l'appel d'air du fumivore se fait sur l'avant du foyer; et de $0^m,45$ à $0^m,60$ dans les foyers à prise d'air placée dans l'autel. Dans ce dernier cas, l'extrémité de la voûte doit être, en projection horizontale, à 10 centimètres au moins et 20 au plus de l'orifice de la prise d'air. Une longueur plus grande de la voûte ne modifie en rien la fumivorité de l'appareil; mais elle augmente la consommation de combustible, par la diminution de surface de chauffe qu'elle occasionne.

2° En désignant par s la section du conduit de flammes au-dessous de la voûte, et par S la surface de la grille, le rapport $\frac{s}{S}$ doit être compris entre 1/5 et 1/6 : le rapport $\frac{1}{5,5}$ paraît être celui qui fournit les meilleurs résultats.

Lorsque ce rapport augmente, la fumivorité cesse d'être satisfaisante et la consommation du combustible s'accroît; lorsqu'on la diminue, la fumivorité se maintient, mais la production de vapeur devient insuffisante.

3° La forme la meilleure à donner au conduit de flammes DD, en arrière du foyer, est celle d'un four à réverbère à parois latérales planes; toutefois la voûte, quoique très-préférable, peut être, dans certains cas, remplacée par une simple plaque; mais il convient alors de ne la construire ni en fonte, ni en fer, ces métaux se gondolant facilement et ne pouvant guère fonctionner régulièrement au delà de quelques heures.

4° L'orifice A de la prise d'air doit, autant que possible, occuper toute la largeur du courant gazeux au point où elle est établie. Par cette disposition, l'air nécessaire à la combustion des gaz non brûlés, à leur sortie de la grille, peut être projeté dans la flamme sous forme de nappe de très-faible densité, qui se mélange facilement avec elle et détermine la combustion complète dans le conduit suréchauffé qui forme la voûte du fumivore.

Il en résulte, d'une part, que l'air supplémentaire, à cause de sa faible densité, ne détermine qu'un refroidissement peu sensible de la flamme en se mélangeant avec elle; et que, d'autre part, la combustion totale, sous la voûte et au delà, des gaz non brûlés dans le foyer, donne lieu à un accroissement assez important de température, variable avec la nature de la houille brûlée. *A priori*, on peut donc poser en fait que, avec une bonne installation du fumivore, une réparation et un développement satisfaisants des carneaux, une bonne conduite du feu (*), la température finale du courant gazeux,

(*) Pour obtenir les meilleurs résultats possibles, il convient, avant chaque charge nouvelle, d'étendre le combustible uniformément sur la grille en le refoulant vers l'arrière du foyer, de manière à ménager à l'avant un espace libre du quart environ de sa surface; ce refoulement ne doit se faire que lorsque le combustible de la charge précédente est complétement embrasé et dépouillé de la majeure partie de ses gaz par la distillation pour éviter dans le foyer, au moment du ringardage, un dégagement de gaz trop brusque et trop abondant. On charge ensuite le combustible frais sur l'espace laissé vide sur la grille, en ayant soin de laisser s'écouler un intervalle de quelques minutes entre le ringardage et le chargement.

Cette manière de procéder, très-commune parmi les bons chauffeurs, est rarement appliquée par la masse, fort ignorante en tout ce qui concerne la bonne conduite du feu dans les foyers des chaudières à vapeur.

sous les chaudières, sera plus élevée dans un fourneau fumivore du système Palazot que dans un fourneau ordinaire, sans augmentation très-sensible, d'ailleurs, de la masse d'air chaud qui s'écoule par la cheminée : en d'autres termes, il doit y avoir économie à se servir du fumivore Palazot.

La pratique journalière des usines où cet appareil est installé (*) donne en effet complétement raison à ces prévisions de la théorie.

En général, on peut évaluer à 10 p. 100 l'économie réalisée par l'emploi du fumivore Palazot.

Pour m'assurer de l'exactitude de ce chiffre, j'ai fait des expériences comparatives sur l'une des chaudières de la fabrique de borax de M. Crébessac, à Bordeaux.

Cette chaudière se compose d'un générateur de $4^m,20$ de longueur et de $0^m,80$ de diamètre, de deux réchauffeurs latéraux, système Farcot, de $4^m,20$ de longueur et de $0^m,60$ de diamètre, et d'un réservoir de vapeur d'un diamètre de $0^m,60$ et de $0^m,80$ de hauteur.

Sa capacité est de.	$3^{mc}.980$
Sa surface de chauffe de.	$18^{mq}.50$
La surface de la grille de.	$0^{mq}.60$

La cheminée, qui est rectangulaire, a $0^m,70$ de côté intérieur, à la base, et $0^m,45$ au sommet; elle a 18 mètres de hauteur.

La distance parcourue par les gaz, le long des chaudières, est de 15 mètres; le tirage est très-médiocre (**).

Dans chaque expérience, je suis parti d'un niveau d'eau fixe, qui a été maintenu aussi constant que possible et le même au commencement et à la fin de l'opération. L'alimentation s'est faite au moyen d'un réservoir, placé à une certaine hauteur au-dessus du générateur, et dont l'eau était refoulée par la vapeur dans le réchauffeur inférieur de la chaudière ; la quantité d'eau introduite a été dosée

(*) L'application du foyer Palazot est déjà faite, à Bordeaux, à 48 foyers de chaudières à vapeur de types très-divers : chaudières à tombeau de Watt et Boulton, chaudières cylindriques avec ou sans bouilleurs, chaudières du système Farcot, chaudières à foyer intérieur avec ou sans tubes réchauffeurs, etc.

On a constaté une économie importante de combustible partout où la nature du travail a permis de la déterminer. Quant à la fumivorité, elle est aussi satisfaisante que possible, partout où il y a des chauffeurs passables; ailleurs elle est moins complète, mais sans qu'il y ait de la faute de l'appareil, *lequel a toujours parfaitement fonctionné lorsque j'en ai surveillé la marche.*

(**) La section des carneaux est de $0^{mq},25$; le rapport de la section du conduit de flammes, au-dessous de la voûte du fumivore à la surface de la grille, est égal à $\frac{1}{5,5}$; la voûte a une longueur de 0,15 et une portée sous clef de $0^m,60$, c'est-à-dire égale à la largeur des carneaux.

La prise d'air du fumivore est à l'avant de la grille.

directement et le combustible pesé avec soin. La pression a été maintenue constamment à 4 atmosphères, et le feu a été conduit de manière que la grille, à la fin de l'opération, fût exactement chargée comme elle l'était au commencement.

Expériences comparatives sur la quantité d'eau vaporisée par kilogramme de houille brûlée.

DATES des expériences.		DURÉE des expériences.	QUANTITÉ d'eau vaporisée.	QUANTITÉ de houille consommée.	QUANTITÉ d'eau vaporisée par heure et par mètre carré de surface de chauffe.	QUANTITÉ de houille brûlée par heure et par décimètre carré de surface de grille.	QUANTITÉ d'eau vaporisée par kilogramme de houille.
		heures. min.	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.
		A. — Le fumivore fonctionne.					
1861	9 déc.	9 00	2.838	394	17,05	0,72	7,20
	10 *id.*	8 40	2.505	350	15,63	0,67	7,15
	11 *id.*	9 00	2.516	350	15,11	0,65	7,18
	12 *id.*	9 00	2.527	350	15,17	0,65	7,22
	13 *id.*	8 40	2.495	350	15,57	0,67	7,13
	14 *id.*	9 55	2.484	350	13,55	0,67	7,10
		Moyennes.			15,35	0,66	7,16
		B. — Le fumivore est supprimé.					
1861	16 déc.	9 15	2.494	380	14,57	0,68	6,56
	17 *id.*	9 30	2.484	380	14,13	0,67	6,54
	18 *id.*	9 40	2.494	380	13,89	0,66	6,56
		Moyennes.			14,19	0,67	6,55

Observations. — Le combustible employé dans ces expériences était de la houille très-fumeuse de Newcastle.

Du 9 au 14 décembre (marche au foyer fumivore), fumée très-légère et de courte durée à quelques charges et à des ringardages. Très-bonne fumivorité.

Du 16 au 18 décembre (marche au foyer ordinaire), fumée généralement très-intense et qui persistait presque tout l'intervalle des charges consécutives. Le 16 décembre, vent qui ramenait la fumée dans la direction de la route d'Espagne, au bord de laquelle s'élève l'usine; vers le soir, cette route était parsemée de boules de noir de fumée jusqu'à une distance d'environ 200 mètres.

La température de l'eau d'alimentation est restée constante : 12 degrés centigrades.

L'épaisseur de la couche de houille a varié, sur la grille, de 8 à 12 centimètres.

Plusieurs conséquences utiles sont à tirer de ce tableau : 1° quelle que soit l'allure du feu, il y a économie de combustible à employer le fumivore Palazot; cette économie varie de 8,50 à

10,25 p. 100; en moyenne elle est de 9,32; 2° autant qu'on en peut juger par le nombre restreint des expériences faites, il est préférable, au point de vue de l'économie aussi bien que de la fumivorité, de marcher à feu un peu vif toutes les fois que la longueur des carneaux est suffisante pour bien utiliser la chaleur du gaz. Cette conséquence se trouve d'accord avec la théorie de l'appareil, la combustion du gaz s'opérant d'une manière d'autant plus complète que le foyer est plus échauffé; 3° à feu d'égale intensité, la quantité d'eau vaporisée par heure et par mètre carré de surface de chauffe est plus grande avec que sans le fumivore, tandis que la consommation de houille, dans le même temps, et par décimètre carré de surface de grille, est moindre : de là l'économie de combustible signalée plus haut.

La pratique journalière de l'établissement des eaux de la ville de Bordeaux confirme de la manière la plus complète l'exactitude de mes expériences, au point de vue de l'économie de combustible.

J'ai consigné, dans le tableau suivant, les résultats comparatifs de la marche des fourneaux de cet établissement pendant plusieurs semaines, avant et après l'installation du fumivore dans leurs foyers. Les chaudières auxquelles s'appliquent ces résultats sont identiques quant à leurs formes et à leurs dimensions; elles sont au nombre de trois et ont fonctionné deux à deux alternativement. Elles sont à réchauffeurs latéraux du système Farcot et cubent $8^{m},200$; leur surface de chauffe est de 32 mètres carrés.

La consommation de combustible a été évaluée par force de cheval et par heure. Afin de rendre les résultats parfaitement comparables, on a pris, pour base de la force utile produite, la quantité d'eau élevée par les machines dans les réservoirs de distribution, quantité déterminée d'ailleurs aussi directement et avec autant de précision que possible.

Résultats (*) *comparatifs de la marche des chaudières de l'établissement des eaux de la ville de Bordeaux, avec foyers ordinaires et avec foyers fumivores.*

PÉRIODES de consommation.	Consommation par cheval et par heure.	PÉRIODES de consommation.	Consommation par cheval et par heure.	OBSERVATIONS.
1° *Marche au foyer ordinaire.*		2° *Marche au foyer fumivore.*		Le combustible était de la houille de Newcastle, très-fumeuse, produisant beaucoup de chaleur. Feu très-bas. — Bonne fumivorité. Quand le feu est bien pris, les charges de houille, qui se font toutes les 19 minutes, donnent quelquefois une fumée très-légère, mais qui disparaît promptement. — Pareil fait s'observe parfois au ringardage.
1861	kilog.	1862	kilog.	
Du 27 mai au 2 juin.. .	1,78	Du 20 janvier au 26 janv.	1,41	
Du 17 juin au 23 juin..	1,77	Du 3 février au 9 fév. . .	1,55	
Du 24 juin au 30 juin. .	1,84	Du 10 février au 16 fév..	1,58	
Du 8 juillet au 14 juill.	1,70	Du 17 février au 23 fév..	1,64	
Du 15 juillet au 21 juill.	1,68	Du 24 février au 2 mars	1,44	
Du 22 juillet au 28 juill.	1,82	Du 3 mars au 9 mars. .	1,62	
		Du 10 mars au 16 mars..	1,74	
		Du 17 mars au 23 mars..	1,56	
		Du 24 mars au 30 mars..	1,54	
		Du 31 mars au 6 avril. .	1,55	
		Du 7 avril au 13 avril.. .	1,57	
		Du 14 avril au 20 avril. .	1,50	
		Du 21 avril au 27 avril. .	1,49	
Total.	10,59	Total.	20,18	
Moyenne.	1,765	Moyenne.	1,552	

(*) Je dois ces résultats à l'obligeance de M. Lancelin, ingénieur des ponts et chaussées, chargé du service des eaux de la ville de Bordeaux.

Ce tableau constate, en faveur du foyer fumivore, une économie moyenne de plus de 12 p. 100.

En résumé, le foyer Palazot est d'une construction très-simple, très-économique, et d'un entretien des plus faciles, lorsque la voûte est construite avec de bons matériaux réfractaires. Il s'applique à tous les foyers fixes par des modifications de peu d'importance, et n'exige aucun changement à la conduite rationnelle du feu dans les foyers ordinaires; il brûle la houille sans fumée sensible et donne lieu à une économie de combustible qui varie de 8 à 12 p. 100. Il est donc de nature à rendre des services très-réels aux industries qui emploient la vapeur d'eau comme moteur, ou comme agent calorifique ou chimique.

RAPPORT

SUR LE FOYER FUMIVORE DE M. PALAZOT.

Par M. CALLON, ingénieur en chef des mines.

Par dépêche en date du 17 septembre dernier, M. le ministre m'a fait l'honneur de me renvoyer un dossier relatif à un appareil fumivore inventé par le sieur Palazot, de Bordeaux, me demandant d'étudier cet appareil, de suivre les expériences dont il pourrait être l'objet et d'en consigner les résultats, avec mes observations et conclusions, dans un rapport destiné à être placé ensuite sous les yeux de la commission centrale des machines à vapeur.

L'appareil dont il s'agit a été déjà soumis à cette commission, et dans sa séance du 13 mars 1862, elle a exprimé l'avis que sans recommander officiellement dans les divers centres manufacturiers l'emploi de cet appareil, il y aurait lieu de le porter à la connaissance du public, en insérant dans les *Annales des mines et des ponts et chaussées* une notice où seraient résumées les observations et les expériences dont il avait jusqu'alors été l'objet.

Cette notice a été en effet rédigée par M. Linder, ingénieur des mines en résidence à Bordeaux, et elle est comprise au dossier qui a été transmis. Elle décrit l'appareil Palazot, sous les deux formes principales qui lui ont été données ; et cette circonstance me dispense d'entrer ici à ce sujet dans des détails descriptifs qui ne seraient qu'une répétition du travail de M. Linder.

Je rappellerai seulement que l'appareil repose sur un double principe :

1° Introduction d'une masse d'air supplémentaire qui vient se mêler aux gaz fumeux s'élevant de la grille du foyer et en déterminer la combustion ;

2° Combustion rendue plus prompte et plus complète, en opérant le mélange des gaz et de l'air dans une enceinte à une haute température.

Il n'y a assurément là aucun principe nouveau.

Dès l'année 1833, dans un mémoire inséré au tome III de la 3e série des *Annales des mines*, M. l'ingénieur Lefroy a parfaitement précisé le rôle de ces additions d'air, soit à la température ordinaire, soit préalablement échauffé ; il a montré qu'elles devaient être intermittentes et variables d'un instant à l'autre, sous peine de ne point réaliser une fumivorité satisfaisante, et en outre de refroidir le fourneau au lieu d'en élever la température.

Il a établi également qu'alors même que la combustion a lieu avec fumée, une partie de l'oxygène de l'air reste inutilisé, soit parce que la température n'est pas assez élevée, soit parce que le mélange de l'air et des gaz est imparfait ; il en a conclu avec raison qu'au-delà du point où la masse d'air additionnelle est introduite, au sortir du foyer, il fallait un étranglement pour produire un remous et compléter le mélange des gaz, et, que comme conséquence utile on obtenait en ce point une augmentation de température.

Enfin, il ne s'est pas borné aux indications théoriques ; il les a pratiquement réalisées dans un four, dont la fumivorité était complète, lorsque les registres d'admission d'air étaient manœuvrés avec intelligence.

C'est là évidemment *tout le système Palazot.*

Depuis 1833, la question de fumivorité a été l'objet de nombreux travaux ; soit en France, soit à l'étranger. On peut consulter à ce sujet les procès-verbaux de l'enquête faite en Angleterre par la chambre des communes, un rapport présenté par M. Combes à la commission centrale des machines à vapeur, dans la séance du 3 juillet 1846, concernant une série d'expériences sur les moyens de brûler ou de prévenir la fumée (*Annales des mines*, 4e série, tome XI), enfin diverses notices insérées soit dans les *Annales des mines*, soit dans d'autres recueils scientifiques ou technologiques.

Ces documents présentent une multitude de dispositions, qui résolvent plus ou moins la question de fumivorité, selon qu'elles satisfont plus ou moins à l'ensemble des conditions formulées d'une manière très-nette et très-complète par M. Lefroy.

Le rapport du 3 juillet 1846 indique dans les termes suivants un moyen simple de prévenir la formation de la fumée applicable aux fourneaux munis d'un tirage suffisant :

« Deux conduits déboucheraient à 15 ou 20 centimètres de distance en arrière de la grille, de façon à ce que les courants d'air jaillissent, en face l'un de l'autre, dans le conduit des gaz inférieur à la chaudière, suivant des directions opposées perpendiculaires au courant gazeux. . . . .

« Il serait convenable que ces conduits fussent munis de registres « de manière à ce que l'entrée de l'air pût être à volonté intercep- « tée. Les registres seraient ouverts au moment de la charge et « après le ringardage ; ils seraient fermés après un temps déter- « miné par l'expérience dans chaque cas, et lorsque, par suite de « la conversion partielle de la houille en coke, le dégagement des « produits gazéiformes résultant de la distillation de la houille au- « rait été ralenti, en même temps que l'air trouverait un passage « suffisant à travers les barreaux de la grille. »

C'est là encore presque rigoureusement la première disposition de M. Palazot, et la manœuvre indiquée pour les registres est exactement celle qui doit être suivie avec ceux dont sont munis ses deux types d'appareils.

Ces réserves faites des résultats acquis antérieurement à M. Palazot, on doit reconnaître que son appareil est simple, et facile à installer, et que l'étude des applications assez nombreuses qui en ont déjà été faites n'est pas sans intérêt.

Ainsi à Bordeaux, où l'appareil a été appliqué pour la première fois, il est, paraît-il, assez répandu aujourd'hui.

M. Cor, associé de M. Palazot, produit les certificats de vingt industriels de cette ville, qui, tous sans exception, déclarent qu'au point de vue de la fumivorité, l'appareil donne les résultats les plus satisfaisants.

Quant à l'économie de combustible, huit d'entre eux la signalent expressément, sans toutefois la préciser ; deux seulement indiquent, l'un une économie de 8 à 9 p. 100, l'autre de 10 p. 100 ; aucun n'indique de résultat en sens contraire.

D'un autre côté, M. Lancelin, ingénieur des ponts et chaussées, chargé du service des eaux de Bordeaux, dans une expérience faite avec soin, mais seulement, il est vrai, de quelques heures, a trouvé une économie de 16 p. 100. Il pense que ce chiffre est très-élevé, et serait peut-être modifié par une série d'expériences assez longues. Toutefois, il admet, comme démontré pour lui, que le système Palazot joint à l'avantage de brûler la fumée celui d'économiser le combustible.

En outre M. Linder, dans la notice rédigée sur l'invitation de Votre Excellence, rend compte des observations et expériences auxquelles il s'est livré, et sa conclusion est que cet appareil simple, facile à installer, n'exigeant aucun changement à la conduite rationnelle du feu, brûle la houille sans fumée et avec une économie de combustible qui varie de 8 à 12 p. 100.

Enfin j'ajouterai que les résultats obtenus à Bordeaux ont paru

à l'administration locale assez décisifs pour que M. le préfet de la Gironde ait cru devoir prendre un arrêté aux termes duquel les industriels sont tenus, dans le délai de quatre mois, de brûler la fumée de leurs fourneaux, de manière que cette fumée, si ce n'est au moment de l'allumage, ne dépasse jamais en intensité celle d'un foyer domestique.

Cet arrêté, se référant aux résultats obtenus à Bordeaux avec l'appareil Palazot, est motivé sur ce que :

« Il existe aujourd'hui des moyens pratiques de brûler la fumée « produite par la combustion de la houille, et qui peuvent facile« ment et à peu de frais être appliqués aux établissements à va« peur en activité. »

Tel est le cortége assez imposant de témoignages et de recommandations avec lequel l'appareil Palazot est venu se produire à Paris.

Il fonctionne aujourd'hui dans trois établissements, savoir :

L'hôtel des monnaies ;

La fabrique de blanc de zinc de M. Latry à Grenelle, et,

La raffinerie de M. Sarrebours à Pantin.

Le premier de ces établissements est le seul où il ait été fait des expériences sur la consommation de combustible.

Je vais entrer à ce sujet dans quelques détails.

Les générateurs établis à la Monnaie consistent en trois chaudières cylindriques, à deux bouilleurs, pour lesquels on a les données numériques suivantes :

	mètres.
Corps cylindrique, longueur totale.	5,50
Corps cylindrique, diamètre..	0,90
Bouilleurs, longueur.	5,75
Bouilleurs, diamètre.	0,45
Surface de chauffe, environ.	22,77
Surface de la grille, $1^m,20 \times 0^m,78 =$	0,936
Surface libre entre les barreaux.	0,00
Section de la cheminée, en bas.	1,80
Section de la cheminée, en haut.	0,75
Hauteur de la cheminée..	37,00

Cette cheminée est commune aux trois foyers, dont deux fonctionnent en même temps (elle reçoit en outre parfois les fumées d'un four à recuire). En ne considérant que les générateurs, on voit qu'il faut prendre la moitié de sa section, si l'on veut la comparer à celle de la grille de chaque foyer. Cette comparaison et la hauteur de la cheminée montrent d'ailleurs que ces foyers sont placés dans les conditions d'un tirage énergique.

J'ai recueilli à l'établissement même les observations de plusieurs fonctionnaires et ouvriers; M. Martin entrepreneur de la fabrication a fait des expériences comparatives dont les résultats m'ont été communiqués. De mon côté, je me suis livré à une série d'observations qui s'est étendue aux diverses heures de la journée, embrassant à chaque fois plusieurs périodes de chargement des grilles, ayant lieu à divers jours de la semaine et constamment à l'insu du chauffeur.

Au point de vue de la fumivorité, le résultat favorable ne semble pas douteux. Les fonctionnaires logés dans l'établissement, dont les fenêtres sont en face de cette cheminée, et qui sont peut-être ainsi les meilleurs juges du fait, n'hésitent pas à déclarer que l'emploi de l'appareil Palazot a atténué dans une mesure considérable les inconvénients dont ils souffraient auparavant.

De mon côté, pendant mes observations assez nombreuses faites comme je l'ai dit plus haut, je n'ai pas aperçu, une seule fois, une fumée épaisse susceptible de causer une incommodité sérieuse. Généralement la fumée était nulle ou à peine sensible. A des intervalles de 7 à 8 minutes environ le chauffeur chargeait ses deux grilles, l'une après l'autre, et il se produisait par là deux bouffées bien distinctes, jaunâtres, peu épaisses, peu persistantes, suivies, pendant une ou deux minutes au plus, d'une fumée légère qui diminuait rapidement et bientôt devenait imperceptible.

On remarquera cependant que l'on brûlait pendant ces observations de la houille de Mons, tandis qu'auparavant on avait dû brûler de la houille de Charleroi, qui est, comme l'on sait, beaucoup moins fumeuse.

Pour employer une notation semblable à celle dont se sert M. Linder dans son rapport, je formerai le tableau suivant :

Nature de la fumée émise par la cheminée.	Durée moyenne de la fumée par heure.
Fumée intense, incommode	»
Faible sans incommodité	12 minutes.
Nulle ou à peine perceptible	48
Total	60

J'ajouterai enfin que pendant que je faisais ces observations, je pouvais apercevoir, du point où j'étais placé, un certain nombre de cheminées de générateurs à vapeur, la plupart beaucoup moins importants que ceux de la Monnaie, et toutes, sans exception, dégageaient une fumée plus épaisse et surtout plus persistante que celle de cet établissement.

Quant à la consommation de combustible, les expériences de M. Martin ont été faites successivement sur les foyers ordinaires et sur les foyers munis des appareils Palazot. On a pesé le combustible consommé et jaugé l'eau d'alimentation, pendant une période de plusieurs jours.

Ces expériences se résument comme suit :

I. *Foyers ordinaires.*

	Foyer n° 1.	Foyer n° 3.
Charbon consommé	3.685^{k}	3.650^{k}
Eau vaporisée	20.338^{l}	21.696^{l}
Durée de l'expérience	55^{h}	55^{h}

II. *Foyers fumivores.*

	Foyer n° 1.	Foyer n° 2.	Foyer n° 3.
Charbon consommé	2.611^{k}	4.117^{k}	1.900^{k}
Eau vaporisée	16.372^{l}	27.633^{l}	12.091^{l}
Durée de l'expérience	44^{h}	77^{h}	33^{h}

Si nous considérons spécialement les foyers n° 1 et n° 3, qui ont été expérimentés successivement avec appareil et sans appareil, nous formerons le tableau suivant :

	FOURNEAU N° 1,		FOURNEAU N° 3,	
	sans appareil.	avec appareil.	sans appareil.	avec appareil.
Charbon brûlé par heure	67^{k}	59^{k}	66^{k}	58^{k}
Eau vaporisée par heure	370^{l}	372^{l}	394^{l}	366^{l}
Eau vaporisée par kilogr. de charbon	$5^{k},52$	$6^{k},27$	$5^{k},94$	$6^{k},36$
Économie de combustible	$\frac{6^{k},27-5^{k},52}{5,52}=$ p. 100		$\frac{6,36-5,94}{5,94}=7,1$ p. 100	
Charbon brûlé par heure et par mètre quarré de surface de grille	$71^{k},6$	$63^{k},4$	$70^{k},5$	62^{k}
Par mètre quarré de section de cheminée	178^{k}	157^{k}	178^{k}	155^{k}
Eau vaporisée par heure et par mètre quarré de surface de chauffe	$16^{k},25$	$16^{k},34$	$17^{k},13$	$16^{k},1$

On voit d'abord, à l'inspection de ce tableau, que l'économie qui a accompagné l'emploi de l'appareil Palazot a été de 12 p. 100 au foyer n° 1 et de 7 p. 100 au foyer n° 3, c'est-à-dire en moyenne 10 p. 100 environ, ou à peu près exactement le moyen terme des limites admises par M. Linder.

Ainsi, en ce qui concerne les chaudières établies à la Monnaie, le double résultat signalé à Bordeaux, c'est-à-dire un degré très-

satisfaisant de fumivorité, et une certaine économie de combustible, ce résultat, dis-je, se produit dans les mêmes proportions, et semble établi à peu près avec le même degré de certitude.

Est-ce à dire pour cela qu'on doive admettre avec M. Linder, que l'appareil Palazot, pourvu qu'il soit établi dans les proportions qu'il indique, réalisera *partout et toujours* cette fumivorité et cette économie de combustible ?

Il me paraît évident qu'il n'en peut être ainsi.

D'abord, au sujet de l'économie de combustible, il faut remarquer qu'en général les résultats d'expériences spéciales sont toujours plus favorables que ceux d'un travail courant. Les ouvriers se sentent surveillés et sont plus vigilants : on opère sur des appareils en bon état, etc., etc. On pourrait faire une bien longue liste de procédés industriels qui ont été annoncés comme donnant des économies de 10 p. 100, 20 p. 100 et plus, qui les *ont même données* en effet dans des expériences spéciales, et que la pratique n'a cependant point sanctionnés.

En second lieu, je signalerai dans les expériences de la Monnaie, deux circonstances qui peuvent avoir influé dans un sens favorable à l'appareil.

L'une d'elles est la quantité de combustible brûlé par heure, moindre avec les appareils que dans le cas des foyers ordinaires. Or avec une surface de chauffe constante, une moindre consommation de houille comporte en principe, une meilleure utilisation de la chaleur développée.

La seconde circonstance est celle-ci : les premières expériences ont été faites sur les n°s 1 et 3 du massif, le fourneau n° 2 étant *hors feu* ; dans les dernières expériences au contraire, chacun des deux fourneaux a marché *en même temps que le fourneau intermédiaire n° 2*, dont le voisinage était de nature à empêcher les pertes de chaleur par rayonnement ou par contact du fourneau sur lequel on opérait.

Enfin on remarquera que ces fourneaux peuvent être considérés comme établis dans de très-bonnes conditions de tirage, par suite de la hauteur de leur cheminée, de sa grande section comparée à celle de la grille et de la quantité modérée de houille brûlée sur cette grille. Ce sont là précisément les conditions qui permettent de faire ces admissions d'air intermittentes recommandées par M. Lefroy, et qui forment un trait caractéristique du procédé de M. Palazot. Sans ces conditions, de semblables admissions, loin d'être favorables, diminueraient trop le tirage et par suite la puissance de vaporisation de l'appareil ; elles pourraient même dimi-

nuer la température des carneaux et devenir ainsi une cause, non de diminution mais au contraire d'augmentation dans l'intensité de la fumée.

Ces aperçus ne sont point de simples inductions théoriques. Ils s'accordent parfaitement avec les faits observés dans les expériences exécutées en 1844 et 1845 sur la proposition de la commission centrale des machines à vapeur.

D'après les détails et les discussions qui précèdent, je pense faire une part équitable au procédé que Votre Excellence m'a chargé d'examiner, en formulant l'avis suivant :

Le système Palazot est très-simple, probablement très-peu coûteux d'entretien, et peut s'adapter très-facilement et en très-peu de temps au foyer d'un générateur quelconque.

Il ne change rien à la conduite rationnelle du feu, il convient, avec lui, comme sans lui, de charger par petites portions, à courts intervalles, sur le devant du foyer, en repoussant vers le fond de la grille le charbon incandescent des charges précédentes. La seule sujétion nouvelle pour le chauffeur est de manœuvrer à propos, et de la quantité voulue, le registre d'admission d'air, afin d'introduire l'air nécessaire à la combustion de la fumée, mais éviter une introduction excessive. Cela demande un soin et une intelligence qu'on ne rencontre pas toujours dans cette classe d'ouvriers.

Avec un appareil Palazot donnant accès à une quantité d'air suffisante ou légèrement surabondante, on arrivera le plus souvent à réduire beaucoup la quantité de fumée que donnait, avant son établissement le foyer sur lequel on sera venu l'appliquer.

On pourra arriver aussi, en réglant avec beaucoup de soin l'admission d'air à réaliser une certaine économie de combustible.

Mais le chiffre de cette économie ne saurait être indiqué d'une manière générale, comme une conséquence des principes de l'appareil. Cette économie sera relative à la marche plus ou moins parfaite qu'avait ce foyer avant l'application de l'appareil. Elle peut être nulle ; elle peut même être négative si le foyer n'est pas établi dans de bonnes conditions de tirage.

Malgré ces réserves qui me paraissent indispensables, je pense que l'appareil mérite d'appeler l'attention des industriels et qu'il pourrait utilement être appliqué à beaucoup de foyers, surtout si les industriels s'attachaient plus qu'ils ne le font, et autant qu'ils auraient intérêt à le faire, à ne confier la conduite de leurs foyers qu'à des hommes sûrs et intelligents.

Cela suffit sans doute pour conclure encore aujourd'hui dans le

même sens que la commission centrale des machines à vapeur dans sa séance du 13 mars dernier.

J'ai donc l'honneur de proposer d'insérer, in extenso ou par extrait, aux *Annales des mines* et *des ponts et chaussées*, la notice de M. l'ingénieur Linder et le présent rapport.

RÉSULTATS

D'EXPÉRIENCES SUR L'APPAREIL FUMIVORE DE M. PALAZOT,

Par M. BURNAT, secrétaire du comité de mécanique de la société industrielle de Mulhouse, et M. LEBLEU, ingénieur des mines (*).

Travaux de la Société industrielle de Mulhouse. — La Société industrielle de Mulhouse étudie depuis six ans toutes les questions qui se rattachent au problème de la production économique de la vapeur (**) : nous nous proposons de résumer plus tard dans une notice spéciale tous les travaux intéressants auxquels cette étude a donné lieu, et notamment un mémoire de l'un de nous qui doit paraître dans un des plus prochains bulletins de la Société. Nous nous contenterons donc maintenant d'indiquer sommairement les différents mémoires ou rapports déjà publiés, soit pour faire connaître les principes qui ressortent des résultats d'expériences, soit pour montrer que l'étude d'un nouvel appareil fumivore et annoncé comme économique rentrait complétement dans le cadre des travaux entrepris depuis six années et poursuivis sans interruption.

Dans un rapport publié en octobre 1858, l'un de nous a cherché à déterminer théoriquement quelle pouvait être l'influence de la disparition de la fumée sur le rendement des foyers; il a été amené à cette conclusion qu'il était peu probable qu'on parvînt jamais à réaliser une économie appréciable en diminuant la perte due à la production de la fumée.

(*) Voir le rapport sur le même appareil présenté à la Société industrielle par M. Burnat. — *Bulletin de la Société de Mulhouse*, juin 1863.

(**) Voici les principaux mémoires publiés dans les dernières années :

1° Note sur la mesure des quantités d'air qui entrent sous les foyers des chaudières à vapeur, par M. Burnat (vol. XXIX, pag. 254 du *Bulletin de la société*).

2° Note sur la combustion de la fumée, vol. XXIX, page 267.

3° Rapport sur les enveloppes de M. Pimont destinées à empêcher les pertes de calorique par des conduites à vapeur, vol. XXIX, page 339.

4° Rapport sur le concours des prix institué par la Société industrielle pour la meilleure chaudière à vapeur, par MM. Burnat et Dubied, vol. XXX, page 117.

5° Rapport sur le concours des chauffeurs, 1861, vol. XXXI; 1862, vol. XXXII page 535.

6° Mémoire sur les expériences relatives aux chaudières à vapeur. Juillet à septembre, 1863.

Dans la même année et au commencement de 1859, à la suite d'expériences suivies sur le tirage des cheminées, ce principe a été posé que la marche la plus économique correspond dans les foyers le plus généralement usités à la production d'une fumée noire la plus abondante possible.

A cette époque la Société industrielle de Mulhouse avait ouvert un grand concours auquel ont été présentés des générateurs de toutes formes; les plus économiques devaient remporter des primes considérables. Un fait très-remarquable est ressorti de l'examen approfondi auquel le comité de mécanique s'est alors livré, c'est que l'on obtenait une économie de combustible considérable en réchauffant l'eau d'alimentation dans des bouilleurs spéciaux, exposés à l'action de la fumée après son passage dans les carneaux du générateur. Ces expériences n'ont pas tardé à porter leurs fruits, et maintenant on compte par centaines, en Alsace et dans les départements voisins, les chaudières munies de bouilleurs réchauffeurs de l'eau d'alimentation. L'économie qui en résulte est au minimum de 10 p. 100; mais elle atteint moyennement de 15 à 20 p. 100. La raison pour laquelle on obtient un pareil rendement est déduite des observations elles-mêmes. Non-seulement la chaleur développée dans le foyer est mieux utilisée, mais encore et surtout il a été reconnu que l'introduction d'une quantité d'air en excès ne nuisait pas à la production de vapeur comme dans les chaudières non munies de réchauffeurs. Pour celles-ci, par exemple, le maximum de production correspondait à une admission d'air de 8 à 9 mètres cubes par kilogramme de houille, et le rendement pouvait diminuer de 12 à 15 p. 100 avec une admission d'environ 18 mètres cubes. Dans les chaudières munies de réchauffeurs, au contraire, le rendement est à peu près indépendant de l'admission d'air; il est même plus grand avec un excès de tirage. Alors, en effet, la combustion est plus parfaite et la chaleur enlevée par l'air en excès est rendue à la surface de chauffe considérable des réchauffeurs. On comprend combien d'importance ces faits ont dans la pratique. Les chauffeurs ont toujours une tendance à activer la combustion et augmenter le tirage. Avec des chaudières simples, ils diminuent sans s'en douter la production de vapeur par kilogramme de houille; avec les chaudières munies de réchauffeurs, leur ineptie ou leur maladresse est en grande partie compensée par le fonctionnement de l'appareil.

Cependant la Société industrielle n'a pas négligé cet élément si important de la production économique de la vapeur: la conduite rationnelle du feu. Des concours annuels sont ouverts sous ses aus-

pièces ; les plus habiles chauffeurs du département sont convoqué à cette lutte pacifique, et les vainqueurs ont pour récompense des médailles et des primes de 25 à 100 francs.

C'est par l'ensemble de tous ces procédés qu'on est arrivé en Alsace à obtenir un rendement qui va jusqu'à 8 kilog. 1/2 de vapeur par kilogramme de houille de qualité médiocre et contenant 10 à 15 p. 100 de cendres.

Nous n'avons pas la prétention de formuler ici de nouveaux principes. Nos conclusions sont conformes à celles qu'ont émises les savants qui se sont occupés de la question. Nous citerons notamment M. Combes (*), M. Péclet (**) et M. Couche (***).

Nous étions dans cet ordre d'idées quand M. Palazot est venu présenter son appareil à la Société industrielle de Mulhouse, qui nous a chargés de l'étudier. Quoique les résultats économiques annoncés par l'inventeur fussent en contradiction formelle avec nos principes, les rapports de M. Lancelin, ingénieur des ponts et chaussées (29 novembre 1861 et 29 janvier 1862), de M. Linder, ingénieur des mines (29 novembre 1861 et 10 juin 1862), et du conseil d'hygiène et de salubrité du département de la Gironde (14 août et 16 décembre 1861), étaient des documents trop sérieux pour que nous ne prissions pas tous les soins nécessaires pour résoudre la question qui nous était posée.

Appareils fumivores présentés depuis quelques années. — Mais avant d'étudier le fumivore Palazot, nous avons dû jeter un coup d'œil retrospectif sur tous les appareils du même genre qui ont été proposés depuis une vingtaine d'années par divers inventeurs.

Dès 1843, en Angleterre, la Chambre des Communes prescrivait l'ouverture d'une enquête qui donna lieu à la publication de nombreux documents sur les appareils fumivores. Un bill célèbre, connu sous le nom d'acte Palmerston, a été rendu en 1853 ; il dispose qu'à partir du 1er août 1854, tous les fourneaux de Londres devront brûler leur fumée. Une ordonnance du préfet de police de la Seine, en date du 1er novembre de la même année, prescrit les mêmes mesures pour la ville de Paris. Dès lors une foule d'appareils furent proposés par une multitude d'inventeurs. Et cependant les cheminées continuent à verser dans l'atmosphère des torrents de fumée. On s'explique d'autant moins cette anomalie que journellement on affirme que la fumivorité amène avec elle des économies

(*) *Annales des mines*, 1846, tome XI, pages 149 à 210.
(**) Deuxième édition du *Traité de la chaleur*, page 354, vol. I.
(***) *Annales des mines*, 1862, tome II, page 366.

notables de combustible. Toutes ces conditions prouvent que jusqu'à ce jour la question est loin d'être résolue industriellement.

Notre intention n'est pas de faire ici l'historique de tous les systèmes de fumivores; nous nous bornerons à indiquer sommairement les différents types connus et à les apprécier d'une manière très-générale.

1° *Insufflation ou appel d'air dans différentes parties du fourneau.* — C'est à cette première catégorie qu'appartient le plus grand nombre des appareils, entre autres les dispositions adoptées par M. Williams (*); le procédé de M. Parkes (**), dans lequel on introduit de l'air par une fente ménagée le long de l'autel. M. Combes, dans le mémoire déjà cité de 1846, a étudié l'influence de cette introduction d'air sous diverses formes.

2° *Passage de la fumée sur des surfaces chauffées au rouge.* — Ici se place entre autres l'appareil de M. Prunier, qui fait passer les gaz chauds à travers un mur vertical en pierre ponce, ainsi que les voûtes en briques appliquées en Angleterre aux foyers de locomotives.

L'appareil Palazot consiste dans l'application des deux systèmes des classes 1 et 2.

3° *Passage de la fumée de la houille récemment chargée sur celle qui est parvenue à l'état de coke incandescent.* — On peut ranger sous ce titre un brevet de Watt, pris en 1785, qui a servi de point de départ à une foule de dispositions, parmi lesquelles les plus connues sont les doubles grilles de M. Chanter (***), celles de M. de Buzannière (****), et la chaudière de M. Numa Gras (*****).

4° *Foyer à alimentation continue.*—On peut ranger sous ce titre le projecteur à palettes de M. Collier, et la grille mobile de M. Taillefer.

5° *Injection de vapeur au-dessus ou au dessous de la grille;*

6° *Transformation des combustibles en gaz.* — Appareils de MM. Ebelmen, Thomas et Laurent, Beaufumé;

7° *Grilles à gradins;*

8° *Lavage de la fumée.* — Essayé sans succès en Angleterre et à Paris (******);

(*) *Considérations chimiques et pratiques*, traduit de l'anglais par Bona Christave, pages 157 à 189. Paris, 1858. — *Bulletin de la Société d'encouragement*, page 144, année 1855.

(**) *Bulletin de la Société d'encouragement*, page 141, année 1855 —Péclet. *Traité de la chaleur*, tome I, page 303.

(***) Péclet, page 309.

(****) *Bulletin de la Société d'encouragement*, page 139, 855.

(*****) *Bulletin de la Société d'encouragement*, page 465, 1855.

(******) *Bulletin de la Société d'encouragement*, page 162.

9° *Foyers à alimentation inférieure*, tels que le foyer Duméry;

10° *Insufflation d'air et combustion dans une chambre fermée.*— La chaudière de MM. Molinos et Pronnier, essayée en 1859 par la Société industrielle de Mulhouse, est le seul exemple que nous puissions citer de cette classe de fumivores.

Plusieurs appareils empruntent à la fois leurs principes à plusieurs des types que nous venons d'indiquer. Tel est notamment le fumivore Palazot.

Notre principal but étant ici l'examen de ce dernier système, nous n'aborderons pas l'étude des autres appareils; nous nous bornerons à cet égard à une appréciation générale. D'ailleurs nous n'avons expérimenté qu'un nombre restreint de fumivores, et nous tenons surtout à ne discuter que sur des faits que nous avons constatés nous-mêmes.

L'exposé des résultats obtenus sur le fumivore Palazot nous permettra de juger les appareils rangés sous les numéros 1 et 2. Quant à la classe 3, elle renferme un nombre considérable de dispositions dont la plupart ne se retrouvent plus que dans les traités spéciaux et sont abandonnés par l'industrie. Cependant une double grille de M. Chodzco a été expérimentée chez MM. Dollfus-Mieg, à Mulhouse, et a donné des résultats négatifs.

Quant aux procédés rangés sous le n° 4 (alimentation continue), on peut affirmer que toutes les dispositions proposées jusqu'à ce jour, sans exception, sont jugées définitivement et ont disparu des ateliers. Elles sont compliquées, coûteuses, et laissent passer un excès d'air très-préjudiciable à une marche économique. A peine trouve-t-on encore quelques grilles Taillefer en marche.

L'injection de vapeur (n° 5) a été expérimentée à Mulhouse et n'a pas donné de résultats satisfaisants.

L'appareil Beaufumé (n° 6) a été soumis à des essais à Mulhouse; il est compliqué et peu pratique. D'ailleurs, le rendement qu'il a fourni était inférieur à celui des foyers ordinaires.

Les grilles à gradins (n° 7) de M. Langen n'ont pas été soumises à des essais à Mulhouse; mais M. Hirn les a employées à Colmar et a rendu compte des résultats obtenus dans les *Annales des mines* (1862, tome II, page 411). Sans vouloir discuter la note de M. Hirn, nous ferons cependant une observation : il déclare que, sous ses chaudières, les meilleures houilles ont toujours donné les meilleurs rendements en argent, quel que soit leur prix. Il en est de même dans tous les établissements où l'installation des chaudières est insuffisante. Il arrive fréquemment, au contraire, que là où l'organisation des générateurs est bonne, on a avantage à consommer

de la houille de qualité médiocre à un prix relativement faible. Aussi les expériences de M. Hirn sur la grille Langen ne peuvent-elles entrer en comparaison avec celles qui ont été faites à Mulhouse sur différents appareils.

Nous ne parlons pas du lavage de la fumée (classe 8) essayé sans succès, ni de l'appareil Duméry (classe 9). Ce dernier n'a pas été appliqué à Mulhouse; mais il a été l'objet de nombreuses expériences. M. Couche, dans la note déjà citée (*Annales des mines*, tome II, page 366), a défini en quelques mots cet appareil, qui est « anti-« économique par défaut d'air. »

Quant à l'appareil de MM. Molinos et Pronnier (classe 10), il donne une solution très-satisfaisante du problème de la fumivorité. Aussi a-t-il obtenu au concours de 1859 de la Société industrielle une médaille d'argent et une prime de 2.750 francs. Cependant cet appareil ne s'est pas répandu, soit à cause de son prix élevé, soit à cause de sa complication.

Nous étions en présence de cet immense insuccès des fumivores, quand l'appareil Palazot nous a été présenté, avec cette vieille théorie dont il serait temps enfin que l'on fît justice, à savoir, qu'un appareil est économique par là seulement qu'il est fumivore, puisqu'il brûle tout le combustible non consumé. Nous avons déjà dit que pour les générateurs ordinaires, sans bouilleurs réchauffeurs, la marche la plus économique correspond à la production de la fumée la plus noire et la plus abondante. Nous avions donc d'avance la conviction que l'appareil Palazot ne pouvait être économique avec des générateurs de ce genre, tandis qu'il pouvait très-bien donner un rendement satisfaisant avec des chaudières à réchauffeurs. Cependant nous avons procédé aux expériences avec tout le soin possible.

Description du fumivore Palazot. (Pl. VI, *fig.* 2, 3, 4, et Pl. VII, *fig.* 4, 5, 6.) — Quelques mots suffiront pour faire connaître le fumivore Palazot. Une petite grille A, est placée à l'avant du foyer, transversalement à la grille ordinaire; elle laisse pénétrer un courant d'air extérieur perpendiculairement à la direction de la flamme. L'intensité de ce courant est réglée au moyen d'un registre B se fermant contre la petite grille et s'ouvrant au moyen d'une clef qui s'engage dans une crémaillère. Une voûte en terre réfractaire C, couvre l'autel, de manière que la flamme soit forcée de passer dans l'espace libre qu'elle laisse au-dessous d'elle. Lorsque la disposition du foyer le permet, M. Palazot introduit l'air par une fente étroite pratiquée dans toute la largeur de l'autel, à quelques centimètres en arrière de la grille.

Si nous recherchons dans les fumivores connus les dispositions qui offrent de l'analogie avec celles que nous venons de décrire, nous trouvons les appareils Darcet, brevetés en 1814, l'autel fendu de Parkes, breveté en 1820, qui ont pour objet des prises d'air analogues à celles de M. Palazot, mais sans la voûte en briques placée au-dessus de l'autel. Dans l'ouvrage déjà cité de M. Péclet, on trouve (page 31, tome I) la description d'une disposition exactement semblable au fumivore Palazot : « On a imaginé de renverser « la flamme au-delà du foyer en la faisant passer sous une voûte; « deux petites ouvertures, dont la section se réglait par des re- « gistres, permettaient d'introduire de l'air dans les gaz enflammés « pendant le renversement du courant, afin de compléter la com- « bustion. »

Résumé des expériences.— Quoiqu'il en soit de la nouveauté de la disposition adoptée par M. Palazot, elle offre le grand mérite d'être très-aisée à appliquer à tous les générateurs, et en même temps de ne pas présenter la moindre difficulté pour le chauffeur.

Les essais que nous avons entrepris ont porté sur quarante-deux jours pleins durant lesquels tous les soins possibles ont été pris pour éviter les chances d'erreur. L'appareil a d'abord été adapté au foyer de deux chaudières du tissage de MM. Dollfus-Mieg et Ce, lesquelles ont servi de type pour le concours des générateurs en 1859; puis à deux des chaudières du retordage du même établissement, qui sont munies de bouilleurs réchauffeurs et qui alimentent une machine de 150 chevaux.

Nous avons d'abord consacré deux semaines à l'essai du fumivore, sous une chaudière à réchauffeur (chaudière du concours n° 2 du tissage, réunie à sa voisine) en marchant une semaine avec l'appareil et une autre sans l'appareil, la voûte enlevée et la prise d'air supprimée.

Deux autres semaines ont été employées à expérimenter l'appareil avec des chaudières sans réchauffeurs (les mêmes que les précédentes).

Enfin, deux semaines ont été consacrées aux chaudières à réchauffeurs du retordage; pendant le même temps l'expérience précédente a été continuée sur les chaudières sans réchauffeurs du tissage.

La direction des expériences a été confiée à M. Miellet, employé de la maison Dollfus-Mieg; un contre-maître chauffeur et un chauffeur de l'établissement ont été constamment présents dans le local où se faisaient les essais et journellement contrôlés par M. Palazot lui-même ou son représentant.

La houille employée provenait du puits Saint-Joseph-de-Ronchamp; mais comme elle était arrivée en plusieurs envois, on a eu soin de ne prendre pour une série d'essais que de la houille d'une même expédition.

Pour éviter toute chance d'erreur, on n'a pas compris le lundi dans les expériences : ce jour là, en effet, on peut craindre des perturbations dans la marche normale par suite du refroidissement des massifs de chaudière pendant le chômage du dimanche.

On a noté avec soin et à chaque heure du jour :

1° La température de l'air;

2° La température de l'eau d'alimentation avant son introduction dans les réchauffeurs;

3° La température de l'eau à sa sortie des réchauffeurs et à son entrée dans la chaudière;

4° La température de la fumée à sa sortie des carneaux de la chaudière et à son entrée dans ceux des réchauffeurs, prise au moyen d'un calorimètre;

5° La température de la fumée à sa sortie des carneaux des réchauffeurs, prise aussi au moyen du calorimètre;

6° La hauteur du baromètre et l'état de l'atmosphère;

7° La pression indiquée par le manomètre de la chaudière;

8° La quantité de houille brûlée;

9° Le nombre de charges;

10° Le nombre de nettoyages de la grille;

11° La quantité d'eau introduite dans la chaudière;

12° Le nombre de tours d'un anémomètre placé dans un cylindre en fer blanc, par lequel passait l'air nécessaire à la combustion;

13° L'état de la fumée;

14° La quantité de cendres laissées par la combustion de la houille.

Pour rendre comparables les résultats obtenus, nous avons dû faire quelques corrections qu'il est nécessaire d'indiquer.

Le volume de l'eau d'alimentation a été ramené à 4 degrés.

Le nombre de nettoyages de grille n'ayant pas été le même pour l'une des series d'expériences à comparer, nous avons admis pour chaque nettoyage une perte de 25 kilogrammes de houille.

La quantité de résidus non consumés sur les grilles ayant varié, nous avons ramené au moyen d'une proportion toute la houille à un type unique qui donnerait seulement 10 p. 100 de cendres.

Fumivorité. — Le tableau ci-joint donne le résumé de toutes les expériences; les résultats à constater sont de deux sortes. Nous au-

rons d'abord à établir la valeur de l'appareil au point de vue de la fumivorité, puis nous devrons comparer le rendement des foyers pourvus du fumivore avec celui des foyers ordinaires.

Les chaudières du tissage ont donné d'excellents résultats, au point de vue de la fumivorité, avec ou sans bouilleurs réchauffeurs. La moyenne de toutes ces expériences se résume ainsi :

	Avec le fumivore.	Sans fumivore.
Temps pendant lequel apparaît la fumée noire.	3' 30"	18' 06"
Id. la fumée moyenne.......	6 12	9 08
Id. la fumée faible..........	16 22	15 36
Id. la fumée incolore........	73 56	57 10
Totaux..........	100 00	100 00

La cheminée d'une hauteur de 25 mètres produisant un tirage énergique ; la surface de la grille S était de $1^{mq},404$ et la section du carneau ou conduit de flammes entre la voûte et l'autel s, de $0^{m},240$.

$$\text{d'où le rapport } \frac{s}{S} = \frac{1}{5,8}.$$

Nous avons d'ailleurs remarqué que le fonctionnement de l'appareil était à peu près indépendant de toutes les conditions de marche du foyer et qu'il donnait sensiblement les mêmes résultats, soit que l'on fît des charges fortes ou faibles, soit que l'on introduisit une quantité d'air plus ou moins grande sous la grille, soit enfin que l'on ouvrît d'un ou de plusieurs crans le registre de prise d'air en avant du foyer.

Les résultats n'ont pas été aussi satisfaisants avec les chaudières à réchauffeurs du retordage dont la cheminée donne un tirage moins énergique.

	Avec le fumivore.	Sans fumivore.
Temps pendant lequel apparaît la fumée noire.	18' 51"	36' 57"
Id. la fumée moyenne.......	14 32	8 03
Id. la fumée faible..........	38 16	37 19
Id. la fumée incolore........	28 21	17 41
Totaux..........	100 00	100 00

Mais nous devons nous hâter d'ajouter que cet insuccès était dû à une disposition vicieuse : M. Palazot, persuadé que dans tous les cas, le rapport $\frac{s}{S}$ devait être au plus de 1/6, avait confiance dans les dimensions données à son appareil. On avait en effet, pour la surface de la grille $S = 2^{mq},08$ et pour la section du carneau $s = 0^{mq},338$; d'où $\frac{s}{S} = \frac{1}{6,15}$. Cependant ce rapport fut réduit à 1/8 par la simple addition d'une rangée de briques sur l'autel, et immédiatement on obtint le même résultat qu'avec les chaudières du tissage :

Fumée noire	9'	34"
Fumée moyenne	8	86
Fumée faible	45	58
Fumée incolore	41	32
Total	100	00

(Observation du 24 mars sur les chaudières du retordage après l'addition des briques sur l'autel.)

Il faut donc conclure de cette observation que le rapport $\frac{s}{S}$ est essentiellement variable et doit être modifié suivant les conditions du tirage de la cheminée.

Nous mentionnerons seulement en passant quelques expériences faites pour constater l'utilité relative de la prise d'air et de la voûte dans le fumivore Palazot. Il nous suffira de dire que nous avons reconnu la nécessité de l'emploi simultané de ces deux parties de l'appareil ; avec l'une ou l'autre seule on n'obtient qu'une fumivorité imparfaite.

Rendement. — Après avoir constaté la complète efficacité du fumivore, il nous reste à établir sa valeur économique. Sur ce point nos prévisions ont été complétement confirmées. Pour les chaudières ordinaires sans réchauffeurs, les chiffres proportionnels au rendement moyen sont les suivants :

Avec le fumivore	94,48
Sans fumivore	100,00

Pour les chaudières à réchauffeurs.

Avec le fumivore	101,80
Sans fumivore	100,00

Dans le premier cas il y a donc une perte de 5,52 p. 100 et dans le second une économie de 1,80 p. 100.

Ces chiffres sont bien différents de ceux qui ont été obtenus dans

les expériences de Bordeaux. Nous expliquons cette différence, soit par la durée insuffisante, selon nous, des essais, soit par les soins particuliers qui semblent avoir été donnés au chauffage. L'influence d'un bon chauffeur est en effet beaucoup plus grande qu'on ne le pense généralement. Dans les concours organisés par la société industrielle de Mulhouse, auxquels sont appelés seulement les chauffeurs d'élite, on voit souvent entre les résultats auxquels ils arrivent des différences de 10 à 12 p. 100. La compagnie des houillères de Ronchamp, dans le but de faire apprécier ses produits, a organisé une école de chauffage. Un contre-maître habile parcourt les différents établissements d'Alsace et montre aux chauffeurs le moyen rationnel d'utiliser la houille de Ronchamp. Des certificats authentiques constatent que ce contre-maître a obtenu dans certains établissements des économies de 25 à 30 p. 100 sans qu'aucune modification ait été apportée aux foyers. Il résulte de cette influence considérable du mode de chauffage que les expériences sont très-difficiles à faire. Pendant plusieurs années la société industrielle ne pouvait que très-difficilement obtenir des résultats comparables. Maintenant une longue pratique nous permet d'accorder une complète confiance aux expériences qui viennent d'être faites et dont le résultat peut ainsi se résumer.

Résumé. — L'appareil fumivore proposé par M. Palazot est simple, d'un prix peu élevé, facile à installer sous toutes les chaudières et n'entraîne aucune difficulté dans la marche. Appliqué à des chaudières sans réchauffeurs, il donne lieu à une perte sensible, par suite de l'introduction d'un excès d'air qui n'est point compensé par une amélioration dans les conditions de la combustion. Appliqué à des chaudières à réchauffeurs au contraire, il donne lieu à une légère augmentation de rendement. Nous pensons que ce fumivore peut être recommandé aux industriels auxquels des ordonnances de police ou des conditions particulières imposent la suppression de la fumée; *mais en aucun cas, nous ne croyons qu'il y ait convenance à l'adopter dans le but d'y trouver une économie de combustible.*

ÉTUDES SUR L'ACIER.

Par M. DE CIZANCOUT, ingénieur des mines.

L'acier est encore aujourd'hui beaucoup mieux connu par ses propriétés utiles que par sa constitution intime et sa composition chimique : aussi, dès que l'on se propose d'étudier sa nature et d'apprécier sa valeur, est-on conduit à prendre pour base de toute discussion l'interprétation des faits métallurgiques ou l'examen des données de l'économie industrielle.

Les idées les plus opposées sont mises en avant dans les questions relatives à l'acier. Ce fait est trop grave pour qu'on puisse se dispenser d'examiner les causes qui l'amènent à se reproduire presque périodiquement. Les plus apparentes de ces causes paraissent provenir des différences profondes qui s'offrent à l'esprit, suivant qu'on prend pour point de départ dans l'examen de ces questions les connaissances de la métallurgie ou les théories de la chimie pure.

La métallurgie se propose de retirer des minerais fournis par la nature les métaux ou dérivés de ces métaux, dont la production sert à accroître la richesse publique, et dont la fabrication est, pour ceux qui s'y livrent, un moyen d'employer leurs forces dans un travail remunérateur.

La chimie étudie le produit pour lui-même. On est donc exposé à retrouver dans ses classifications, à côté des produits dont l'usage est le plus avantageux, des composés analogues dont la fabrication industrielle offrirait des inconvénients aussi graves pour la sécurité du consommateur que pour la fortune du producteur.

La confusion peut d'autant plus facilement se produire

dans le jugement des questions relatives à l'acier, que la métallurgie, pour s'élever à l'explication théorique des faits, doit emprunter les termes de la chimie, celle des sciences pures à laquelle elle remonte le plus souvent ; tandis que, de son côté, quand la chimie rencontre des produits métalliques nouveaux, elle les désigne, pour être comprise, par les noms des produits analogues connus dans la métallurgie.

Les opinions extrêmes sont naturellement caractérisées par la position de leurs représentants : les fabricants de Sheffield, les hommes les plus pratiques du monde, persistent à voir la cause de la supériorité des aciers, et même la cause unique de leur existence, dans les propriétés spéciales des minerais qui les ont produits ; ils le prouvent par le soin apporté dans le choix des matières premières, et par la persistance avec laquelle ils distinguent et classent les aciers d'après leur origine. Certains chimistes, au contraire, paraissent penser qu'en partant de minerais réputés non aciéreux, on peut obtenir d'excellents aciers par un traitement convenable et à l'aide d'additions particulières.

Cette dernière opinion n'est d'ailleurs pas nouvelle ; à la fin du siècle dernier, soutenue par Réaumur, elle essaya de lutter contre l'idée pratique sur le terrain industriel, d'où elle disparut à la suite de désastres aujourd'hui oubliés.

Si l'incertitude peut exister encore à cet égard et se reproduire sous nos yeux, cela paraît tenir surtout aux circonstances particulières de la période industrielle dans laquelle nous nous trouvons. C'est parce qu'en ce moment on voit en même temps apparaître de nouvelles méthodes d'élaboration pour acier, et surgir de nouvelles applications soit des aciers connus et jugés, soit des produits des méthodes économiques.

Avant le grand mouvement industriel caractérisé par les chemins de fer et l'emploi toujours croissant des machines, l'acier était réservé à des usages spéciaux assez limités pour lesquels on faisait appel à ses propriétés particulières, souvent même en exigeant dans le même produit leur

réunion complète à un degré supérieur. L'acier pour ces usages, outils, tranchants, ressorts fins, coins monétaires, molettes, etc., paraissait ne pouvoir être remplacé par aucun corps. Dans ces conditions, on était arrivé à établir la valeur des aciers d'après leur origine et suivant leur mode de fabrication, dans des limites où l'expérience des consommateurs ne permettait plus de sérieuses indécisions.

Mais, depuis cette époque de progrès que je viens de rappeler, l'acier a été de jour en jour plus largement utilisé : il a été substitué au fer pour des emplois dans lesquels ce dernier avait été un instant considéré comme suffisant. L'extension de son rôle résulta surtout de la nécessité de remplacer le fer par un métal plus parfait dans des conditions de prix analogues.

C'est ainsi que l'on vit successivement employer l'acier pour les glissières, les bandages, les pointes de croisement, les tiges, les arbres et les rails, parce que l'on reconnut avec raison que, malgré son prix élevé, il était cependant, dans certains cas, d'un usage plus avantageux que le fer, par suite de sa dureté, de sa tenacité, de son poli et de sa grande résistance à l'usure et à la déformation dans le travail; mais dans ces applications nouvelles, il est apparent que l'on ne fait plus appel en même temps à toutes les qualités précieuses de l'acier, comme la trempe, la pureté, la finesse du taillant, la grande élasticité et la faculté que possèdent seuls les vrais aciers de reprendre la trempe d'une manière stable après de nombreux retours au feu, et de conserver leurs autres propriétés malgré les fatigues du travail auquel ils sont employés.

On est arrivé, par suite, à consommer, sous le nom d'acier, des produits qui n'en possèdent les caractères essentiels que d'une manière plus ou moins complète et plus ou moins stable, et l'on est devenu de moins en moins difficile sur la nature de l'acier en général, ce qui doit être constaté.

Cette disposition des consommateurs les conduisit par compensation à diminuer le chiffre de leurs offres, ce qui amena une baisse qui porta d'abord sur les aciers acceptés pour les usages nouveaux, et qui ne tarda pas à atteindre tous les aciers sans distinction ; en sorte que les acheteurs pesèrent partout à la fois en poussant la production vers une diminution générale de qualité. Une baisse opérée ne manque jamais d'être attribuée principalement à un progrès dans la fabrication ; on voit que cela n'est pas complétement exact pour le cas qui nous occupe.

L'époque des nouvelles applications coïncida, il est vrai, à peu de distance, avec l'apparition des aciers puddlés, et vient d'être suivie de l'arrivée des produits de l'appareil Bessemer : on comprend, par suite, comment, par différentes causes, conduisant au même résultat, le vrai type de l'acier stable a été exposé à être parfois perdu de vue, et comment on a pu donner ce nom sans hésitation à des produits encore bien nouveaux. Les idées opposées se reproduisent sous nos yeux parce que l'on embrasse aujourd'hui dans la même désignation commune d'aciers, des produits nombreux très-différents entre eux, et dont plusieurs sont d'un usage trop récent pour que l'expérience des consommateurs ait pu porter sur eux un jugement définitif.

Après avoir constaté le mal, dont les conséquences sont trop faciles à apprécier, et après avoir indiqué son origine, il ne reste, pour faire disparaître toute cause d'erreur, qu'à remonter aux sources, en faisant appel encore une fois au bon sens et à l'expérience pratique.

La tâche est rendue facile par les travaux d'un homme éminent qui, à une autre époque, a su poser la question de l'acier sur sa seule base solide.

Avec M. Le Play, je dois déclarer que je ne puis considérer comme aciers que les aciers de tout le monde, ceux auxquels un emploi industriel suffisamment long et suivi de succès a permis de conserver ce nom sans contestation.

La seule mesure qui puisse servir de base à un classement des aciers, est « la valeur commerciale, valeur constatée par une vente régulière après que les causes de perturbation ont été écartées sous la puissante influence du temps et de l'expérience. » Je repousse donc comme insuffisants et dangereux par les conséquences qu'ils peuvent avoir, les jugements portés à la suite d'essais d'ateliers sur des produits qui n'ont pas encore reçu la sanction de la consommation régulière.

Quant aux aciers incomplets, instables ou nouveaux qui ne paraissent posséder que certaines propriétés des anciens aciers, je laisse à l'usage de quelques années le soin de décider si le nom d'acier doit leur être définitivement conservé, mais j'aurai évité toute cause de surprise, en constatant avec M. Le Play « que les personnes qui auront à juger des questions relatives à l'acier, et qui ne voudront pas se laisser égarer par les assertions erronées que pourront suggérer les préjugés, les préventions et les intérêts, devront prendre pour point de départ de leurs études la valeur commerciale des fers à aciers » ou des fontes qui servent ou devront servir aux élaborations pour acier.

Car je tiens aussi au nombre des axiomes métallurgiques les mieux établis, ainsi qu'on le verra par l'ensemble du présent travail, l'influence dominante des minerais sur la qualité des aciers qu'on en obtient.

Étude sur le procédé Bessemer.

Je n'ai pas l'intention de donner ici un traité théorique ni un guide pratique du procédé Bessemer. La théorie complète exigerait des expériences directes que je n'ai pas encore eu le temps de terminer; et l'exposé de tous les détails pratiques m'entraînerait au delà des limites assignées à un mémoire destiné aux *Annales des mines*.

Je me borne à présenter une étude faite avec les seules données de la métallurgie pratique. C'est à cet art qu'il appartient de fournir les éléments avec lesquels on doit essayer de juger les procédés nouveaux; lui seul peut d'ailleurs préciser les points sur lesquels il peut être utile de faire porter ultérieurement le contrôle des balances de la chimie.

Je prends donc pour base de cette étude le *Rapport sur les expériences pour la conversion en acier des fontes d'Italie par le procédé Bessemer, exécutées dans l'usine de M. Bessemer, à Sheffield, par le comité royal italien près l'exposition internationale de Londres en 1862*. Ce document contient la série d'expériences la mieux choisie et la plus complète de toutes celles qui ont été, à ma connaissance, publiées jusqu'aujourd'hui; il acquiert d'ailleurs de la position et du caractère des hommes qui l'ont rédigé, une grande valeur que tout le monde appréciera comme moi. J'en dois communication à M. l'ingénieur en chef Couche, à qui j'adresse mes remercîments pour la peine qu'il a prise, de réunir et de me faire parvenir les documents destinés à compléter, pour mon travail, les résultats consignés dans le rapport.

Je vais rappeler, en commençant, la nature de l'opération, la forme des appareils qu'elle nécessite, et faire connaître les phénomènes généraux qui se produisent pendant le traitement. Ces préliminaires faciliteront l'intelligence du rapport dont je donne la traduction. Ils permettront d'abréger la discussion des expériences tout en la rendant plus claire. J'essayerai, après cette discussion, et à l'aide des données qu'elle fournira, de caractériser la nature des divers produits obtenus par le traitement des différentes fontes; enfin, je terminerai par certaines considérations générales sur le caractère et l'importance métallurgique des principes sur lesquels repose le procédé.

Description.

Le procédé Bessemer est des plus simples. Il a pour principe unique l'action que produit directement sur les éléments de la fonte le passage de courants d'air sous forte pression à travers un bain de fonte liquide. Le brassage et les combustions qu'il détermine transforment certaines fontes en un métal étirable susceptible d'être élaboré à la manière de l'acier fondu. Le procédé Bessemer est donc une méthode d'affinage.

L'opération s'exécute dans un appareil spécial : après que la fonte a été préalablement introduite à l'état liquide, l'air est distribué à la pression convenable par une série de canaux qui débouchent sous cette fonte, de manière à la traverser en totalité. La masse métallique mise en élaboration demeure liquide pendant toute la durée de l'action de l'air. On obtient un produit étirable, soit dans certains cas, en arrêtant le vent, lorsqu'on est arrivé à un affinage incomplet, soit plus généralement en prolongeant son action jusqu'à ce que la fonte soit convertie en une sorte de fer suraffiné et brûlé. Le produit transitoire, encore sans application, qu'on obtient dans le dernier cas, est pour toutes les fontes traitables avec succès, immédiatement transformé en métal étirable au moyen d'une simple addition de fonte cristalline aciéreuse, faite dans l'appareil lui-même avant la coulée du produit.

Pour effectuer le traitement, on a employé avec succès d'abord une sorte de cubilot fixe portant des tuyères à sa partie inférieure; mais afin d'éviter l'engorgement des tuyères, toujours à craindre avec cet appareil fixe, on préfère aujourd'hui opérer dans un appareil mobile, qui a reçu le nom de convertisseur (*converter*) et dont je vais rappeler le mode d'établissement.

Le convertisseur a la forme d'une grosse panse de cornue

à col très-court. Il est formé de plaques de tôle rivées à la façon de chaudières à vapeur et garni intérieurement d'une couche de terre réfractaire damée de 20 à 30 centimètres d'épaisseur. Vers la hauteur de son centre de gravité, il est embrassé par une armature en fer qui porte deux tourillons reposant sur des paliers; par suite de cette disposition, l'appareil est mobile autour d'un axe horizontal. La mise en mouvement s'effectue à l'aide d'un système d'engrenage manœuvré à la main ou au moyen d'une machine.

Une boîte à air en fonte ou en tôle, de forme cylindrique et de peu de hauteur, fermée par deux plaques de fonte dont l'une sert de porte à cette boîte et l'autre vient remplir l'espace laissé vide dans la coque du convertisseur, est fixée à demeure à la partie inférieure de cet appareil. L'air y est amené du réservoir de la machine soufflante par un tuyau qui traverse l'axe de l'un des tourillons à l'aide d'un presse-étoupes. Le convertisseur, la boîte à air et le tuyau d'amenée font ainsi partie d'un même système mobile sur les paliers, et l'air peut à volonté être introduit ou supprimé dans toutes les positions de l'appareil.

Les tuyères doivent déboucher verticalement sous le bain de fonte et sont placées de manière à établir la communication entre la boîte à air et le fond du convertisseur. Elles sont formées par des manchons en terre réfractaire cuite de forme légèrement conique. Chaque manchon est percé parallèlement à son axe de quatre ou cinq canaux cylindriques d'un centimètre environ de diamètre, qui servent au passage de l'air. Les manchons, après leur mise en place, doivent être noyés dans la terre réfractaire qui forme le revêtement intérieur du convertisseur et de manière à venir affleurer sous la fonte. En principe, ce genre de tuyères revient à former le fond du vase d'élaboration dans la partie qui est au-dessus de la boîte à air avec une substance suffisamment réfractaire et résistante pour qu'on puisse y conserver un certain nombre de petits canaux ouverts destinés

à servir de tuyères. Les dispositions adoptées n'ont donc rien d'absolu. Je vais les faire connaître à titre de solution plus ou moins complète.

Les manchons, après avoir été enduits d'argile sont enfilés ou grossièrement vissés dans la plaque supérieure de la boîte à air qui est à cet effet percée de trous, munis de rebords filetés en forme d'écrous. La plaque ainsi armée est adaptée par en bas au fond du convertisseur. Afin de remplir les vides laissés entre les manchons, on introduit par la gueule de cet appareil une laitance (mortier liquide) en terre réfractaire (Ganister) qui, en coulant, se loge entre les manchons et reconstitue l'épaisseur de terre réfractaire qu'il est nécessaire d'avoir sous le bain de fonte. On peut encore garnir la plaque avec les manchons, comme dans le cas précédent, et les relier de suite en damant entre eux de la terre réfractaire : il suffit alors d'introduire tout cet ensemble comme une sorte de gros bouchon au fond du convertisseur. Les tuyères mises en place, on ferme la boîte à air en plaçant la plaque inférieure, et l'appareil est complété.

Dans ces conditions, les tuyères ne résistent encore qu'à un petit nombre d'opérations; comme leur durée influe beaucoup sur l'économie et la sûreté des opérations, il importe de chercher le progrès dans l'emploi d'un système qui exigera moins de réparations et de remplacement. La question ne paraît pas, *à priori*, difficile à résoudre, mais en pareille matière, il importe de ne pas oublier qu'on doit exclusivement s'en rapporter à l'expérience.

Les dimensions principales du convertisseur sont déterminées par le poids de la fonte à traiter. La capacité totale de ces appareils varie de cinq à sept fois le volume de cette fonte. Le fond offre la forme d'un tronc de cône renversé, calculé de manière à ce que la fonte n'ait pas plus de 50 centimètres environ de hauteur sur les tuyères. L'ouverture supérieure ou gueule doit laisser un passage facile aux gaz

et aux matières en fusion qui sont parfois projetées ; sa largeur doit toujours être assez considérable pour que l'obstruction ne soit pas à craindre. Quant aux détails de profil, on achève de les déterminer par les considérations suivantes : le convertisseur est pendant le travail maintenu dans la position verticale. Lorsque, pour les manœuvres du chargement et de la coulée, on veut, tout en supprimant le vent, éviter l'engorgement des tuyères, on amène le grand axe de figure de la cornue dans la position horizontale. Pour cela, on rabat l'appareil sur le côté le plus développé de la panse dont la forme doit, par suite, être calculée de manière à pouvoir, dans cette position, contenir toute la masse de fonte sans que le niveau du liquide puisse s'élever jusqu'à la hauteur qu'occupe alors l'entrée des tuyères. Les appareils connus peuvent traiter de une tonne à cinq tonnes de fonte. Dans la marche, la gueule du convertisseur débouche sous une hotte surmontée d'une cheminée qui conduit au dehors les gaz et les fumées.

Quand une opération est terminée, on renverse le convertisseur de manière à faire couler le métal obtenu dans une poche de fonderie assez grande pour contenir le produit en totalité. Cette poche coule de fond au moyen d'une soupape en quenouille.

La masse de métal fondu qu'on a alors à manœuvrer est toujours considérable, le métal a une tendance à se refroidir rapidement et doit être, comme l'acier fondu, distribué dans les moules avec assez de précision pour que le jet de coulée ne touche jamais les parois de ces moules. Les difficultés qu'il faut résoudre dans ces conditions ont conduit M. Bessemer à adopter, pour le service de la poche, une grue hydraulique spéciale. Cet appareil qui n'est pas indispensable offre néanmoins des avantages ; il n'a d'autre inconvénient que son prix assez élevé.

La grue consiste en un corps de pompe en fonte placé verticalement, dans lequel se meut un piston cylindrique

dont la tête soutient une pièce horizontale formant avec le piston une sorte de T. L'un des bras porte la poche, l'autre un contre-poids. Avec ce système, la poche peut être déplacée verticalement de toute la hauteur du piston sur tous les points d'un arc circulaire de rayon fixe. Elle peut être élevée et abaissée très-régulièrement par la simple manœuvre d'un robinet unique qui établit la communication du corps de pompe tantôt avec le réservoir d'eau tenue en pression par une presse hydraulique ou autre moyen, et tantôt avec un conduit de vidange. Ces dispositions permettent, au moment de la coulée, de suivre avec la poche le mouvement du convertisseur; on évite ainsi toute chance de projections par secousses. Pour la coulée on est assuré d'arriver à de bons résultats lorsqu'on a placé les centres des lingotières sur le tracé du cercle qui décrit le trou de la coulée.

Un atelier Bessemer contient les convertisseurs disposés de manière à ce que deux de ces appareils puissent être desservis par une seule grue hydraulique. On les dispose à l'extrémité d'un des diamètres du cercle que décrit la poche. L'atelier contient en outre des grues ordinaires pour la manœuvre de la petite poche qui apporte la fonte d'addition et celle des lingotières, lingots et accessoires.

La machine soufflante est ordinairement située dans un atelier différent. Le modèle le plus employé pour cette machine est à deux cylindres à double effet, avec soupapes annulaires en caoutchouc placées sur grille. Les cylindres à vent sont conjugués et reçoivent leur mouvement, soit de cylindres à vapeur qui les conduisent directement, soit de tout autre moteur. Pour les pays où l'on dispose de cours d'eau à grandes chutes, il y a lieu d'étudier les machines soufflantes sans piston. La machine doit fournir environ 25 mètres cubes d'air évalué à la pression de l'atmosphère par minute et par tonne de fonte élaborée; elle doit comprimer cette quantité à la pression moyenne de $0^{m},76$ de

mercure comptés au manomètre à air libre. La distribution sous la fonte a lieu par 35 canaux de 1 centimètre de section circulaire. Il y a toujours intérêt à disposer d'une puissance plus grande que celle reconnue nécessaire pour fournir la quantité de vent exigée pour la marche ordinaire.

Lorsque la fonte liquide que réclame l'appareil Bessemer n'est pas prise directement au haut fourneau, on doit posséder des fours à refondre. On emploie les fours à réverbère que l'on établit à peu de distance du convertisseur, et à une hauteur convenable, pour que la fonte puisse couler facilement au moyen d'un chenal, du four dans ces appareils. Dans l'établissement des fours, on ne doit jamais oublier que la fonte doit être fournie au convertisseur aussi chaude et aussi fluide que possible.

Il est nécessaire de chauffer le convertisseur avant d'y admettre la fonte liquide. A cet effet, on introduit dans l'appareil du coke en ignition, et on le brûle à l'aide du courant d'air, fourni par la marche lente de la machine soufflante, à l'origine et dans l'intervalle des opérations lorsqu'on est conduit à les espacer par suite de réparations aux tuyères. Quand l'intérieur a atteint la couleur blanche qui suit la couleur cerise, on renverse l'appareil pour vider le coke et les cendres. Ce mode de chauffage nécessite en partie la mobilité du convertisseur; mais il peut être heureusement remplacé par le chauffage au moyen du gaz combustible qui est plus économique, et permet de laisser toujours l'intérieur beaucoup plus propre.

Je ne donne pas ici le plan des divers appareils, qui ne me paraissent pas indispensables à l'intelligence de l'étude purement métallurgique que j'ai entreprise (*).

M. Bessemer fournit d'ailleurs ces plans, tenus au courant des derniers perfectionnements, aux industriels qui veulent appliquer sa méthode.

(*) Voir dans les *Annales des mines* le mémoire de M. l'ingénieur en chef Gruner.

Phénomènes d'allure.

Le rapport du comité royal italien ne contient que peu de détails sur l'allure proprement dite; je vais faire connaître les phénomènes types pour les deux opérations les plus différentes, prises parmi les opérations régulières; avec ce complément et les notes contenues à la colonne des observations du tableau, on rétablira facilement la marche des phénomènes pour les autres opérations.

Pendant le traitement à l'appareil, les points sur lesquels l'opérateur doit porter toute son attention sont : l'allure des étincelles ou flammes qui sortent du convertisseur, celle des fumées qui se montrent au haut de la cheminée et qui ne sont pas toujours visibles ailleurs, à cause des parties lumineuses des flammes; le bruit de la fonte dans le convertisseur; la hauteur du manomètre fixé sur le tuyau qui amène l'air du réservoir (cette hauteur indique, outre les variations propres à la machine, celles qui résultent des différences de pression sur les tuyères); enfin la durée de chacun des phénomènes accusant les phases de l'affinage et la durée totale de l'opération.

PREMIÈRE OPÉRATION (*a*). — On a traité une fonte grise n° 1, au bois, provenant de minerais de l'île d'Elbe, fondus au haut fourneau avec un mélange des minerais de manganèse pauvre. Le poids de la fonte était de 1.226 kilog.; l'air lancé à la pression effective de $0^m,76$ de mercure et fourni à raison de 27 mètres cubes ramené à la pression atmosphérique par minute et par tonne de fonte.

Le convertisseur intérieurement chauffé au blanc, la fonte a été fournie par un four à réverbère, et introduite aussi chaude que le comporte ce mode de fusion, suivi du passage de la fonte liquide dans un chenal découvert de quelques mètres de longueur pour arriver du réverbère dans le con-

vertisseur. Cet appareil a été amené à la position horizontale pour recevoir la charge; la fonte introduite, on a donné le vent, puis relevé l'appareil et l'opération a commencé. Elle a été prolongée pendant 22 minutes jusqu'à ce que la fonte ait été convertie en fer suraffiné. Alors l'appareil ramené à la position horizontale et le vent étant supprimé, on a ajouté à ce métal liquide, dans le convertisseur même, 7 1/3 p. 100 de fonte de Siegen à l'état liquide. Le mélange obtenu, on a renversé le convertisseur de manière à faire couler son contenu dans la grande poche de distribution, approchée à cet effet.

Le procès-verbal d'une opération déterminée aurait pour inconvénient, s'il était présenté isolément en dehors d'une série dont la description complète et détaillée conduirait trop loin, d'exposer le lecteur à confondre les phénomènes accidentels de l'opération avec les phénomènes généraux qui se retrouvent dans presque toutes les opérations et permettent d'apprécier les réactions fondamentales. Je crois donc devoir donner ici, en conservant les données exposées de l'opération (*a*), le type d'allure qu'on serait conduit à établir d'après la moyenne d'un certain nombre d'opérations régulières faites sur le traitement de fontes de même nature. Je suis ainsi conduit à distinguer dans la durée de 22' quatre périodes distinctes :

1re *période.* — Durée de 7 à 8 minutes : production des étincelles jusqu'à l'arrivée de la flamme.

2e *période.* — Durée 8 minutes, augmentation de la flamme, formation du dard.

3e *période.* — Durée 2 minutes, détonations, éruptions, projections.

4e *période.* — Durée de 3 à 4 minutes, accélération de la flamme, augmentation du pouvoir lumineux jusqu'à la chute de la flamme.

1re *période.* — L'arrivée de l'air dans la fonte liquide fait

sortir immédiatement par la gueule du convertisseur de nombreuses étincelles d'une espèce particulière qui sont entraînées sous la hotte par le courant violent qui traverse l'appareil. Ces étincelles filent et éclatent comme des fusées soit à l'extrémité, soit dans le parcours de leur trajectoire; elles sont dues à des parcelles combustibles portées à une haute température et entraînées dans un courant encore oxydant. La cheminée ne montre pas de fumée.

Le bruit produit dans le convertisseur est un clapottement sec, indiquant que la fonte soulevée retombe sur elle-même; ce bruit finit par arriver à une sorte de battement régulier de plus en plus sourd.

La fonte, pendant cette période, devient plus liquide et plus chaude. La combustion qui donne lieu à l'élévation de température ne se manifeste par aucune flamme.

2° *période.* — Les étincelles diminuent, sont masquées et remplacées par la flamme.

Vers 6 ou 7 minutes, une flamme rougeâtre, courte et peu éclairante commence à se montrer; vers 8 minutes, elle est définitivement fixée et formée, en devenant jaunâtre et plus éclairante. D'abord assez courte (2 à 3 décimètres), elle grandit progressivement jusque vers le milieu de la période où elle atteint environ 1 mètre de longueur. Arrivée à ce développement, elle est plus blanche et plus lumineuse. Il se forme alors dans la flamme, et à la gueule du convertisseur, un dard obscur, tout à fait analogue à celui de la flamme d'une bougie, qui reste perceptible pendant une partie de la période suivante.

Le bruit dans le convertisseur en devient moins sec, les battements, de moins en moins perceptibles, sont remplacés par un bourdonnement qui semble produit par la formation et le dégagement continu de nombreuses bulles de gaz.

La cheminée n'indique pas de fumée sensible.

La pression sur les tuyères diminue, et la machine, si elle reçoit toujours la même quantité de force, tend à s'accélérer.

3e période. — La flamme persistant toujours, des détonations assez fortes se produisent dans l'appareil; elles sont accompagnées d'éruptions avec projection de matières fluides, visqueuses, mélangées de grains métalliques qui viennent se coller contre le mur de la cheminée. La flamme paraît plus claire pendant quelques secondes après chaque projection. Ces détonations suivies de projections ne paraissent nullement inévitables : elles dépendent de la fluidité de la masse à ce moment de l'affinage et de la capacité libre de l'appareil. Un opérateur habile peut, par la conduite de l'opération, arriver à les faire disparaître avec la plupart des fontes.

Le bruit d'une masse qui fuse et monte à l'ébullition est caractérisé dans l'appareil pendant l'intervalle des détonations.

La cheminée, pendant cette période, accuse, surtout pendant les projections, d'abondantes fumées rousses.

4e période. — Le calme se rétablit. Une longue flamme blanche, de plus en plus éblouissante, sort précipitée et serrée du convertisseur. Bientôt cette flamme fait entendre un bruissement particulier, se déchire sur les bords; quoique tendue, elle tremble; puis elle tombe bientôt subitement comme si la machine soufflante avait perdu les 9/10 de sa force. Après sa chute, la flamme reste peu lumineuse; elle est obscurcie par d'abondantes fumées qui paraissent noires près de la flamme et rousses au-dessus de la cheminée.

On arrête alors l'opération : si on la continuait, on aurait un déchet toujours croissant, une usure énorme du revêtement ordinairement siliceux, et l'on arriverait, après un temps plus ou moins long, à convertir toute la masse en silicate de fer, fluide à la manière de l'huile.

La pratique conduit à saisir très-habilement le temps d'arrêt le plus avantageux pour le degré de dureté du produit que l'on veut obtenir. Toutefois cette détermination toujours délicate du moment à choisir pour arrêter l'opéra-

tion doit être signalée comme une des difficultés du mode de traitement.

Au moment de la tombée de la flamme, on possédait dans le convertisseur un métal fondu très-liquide, retenant en dissolution une grande quantité de gaz. Ce métal refroidi est incapable d'être étiré, et présente dans sa cassure l'aspect à écailles du fer brûlé.

On a arrêté l'opération en renversant l'appareil jusqu'à la position horizontale et supprimant le vent; on a ajouté alors au métal fondu 7 1/3 p. 100 de son poids de fonte de Siegen, préalablement fondue dans un compartiment spécial placé à la suite du four à réverbère. Cette addition est introduite au moyen d'une petite poche manœuvrée par une grue ordinaire.

L'addition de la fonte de Siegen produit dans la masse une action toujours d'autant plus vive et plus tumultueuse que l'opération a été poussée plus loin, et qui varie d'ailleurs avec la nature des fontes traitées. Le mélange détermine une sorte de bouillonnement, soulevant de grosses lames de métal fondu, il est suivi de soubresauts de toute la masse liquide.

Après avoir laissé le mélange s'opérer pendant quelques secondes, on peut couler immédiatement sans relever l'appareil. Si l'on préfère brasser les deux liquides, il faut le relever après avoir donné le vent et opérer comme si l'on voulait reprendre l'opération pendant quelques secondes; puis on renverse de nouveau l'appareil en supprimant le vent, dès qu'il a atteint la position horizontale, et l'on coule le métal obtenu en inclinant l'appareil de manière à ce que tout ce métal se déverse dans la poche de distribution.

Pendant cette reprise de l'opération, la flamme est repassée par le rouge et le jaune, reproduisant ainsi d'une manière très-rapide les couleurs qu'elle avait présentées dans les périodes initiales.

On sait avec quelles difficultés et avec quelle lenteur on

obtient le mélange complet des liquides les plus parfaits et les plus voisins. On a donc lieu de craindre que même à la suite du brassage le mélange de fonte et de fer brûlé laisse à désirer. Le métal obtenu se présente cependant comme homogène : là pratique conduira à juger définitivement si cette homogénéité est suffisante dans tous les cas. Elle s'améliore d'ailleurs toujours à mesure que l'on augmente les élaborations ultérieures que subissent les lingots pour arriver à la forme du produit employé.

2ᵉ OPÉRATION (*e*). — Cette opération a été faite dans les mêmes conditions de charge de pression, de quantité d'air injecté que la précédente. Seulement on a remplacé la fonte grise n° 1 par une fonte blanche cristalline au bois obtenue des mêmes minerais. Je présente une moyenne et un type comme je l'ai dit par l'opération (*a*).

L'opération est beaucoup plus rapide : c'est là son caractère principal. Les périodes se reproduisent sensiblement dans le même ordre, mais plus courtes et plus difficiles à distinguer.

La durée totale est réduite à 11 minutes et demi. En relevant l'appareil, on voit apparaître quelques fumées légères. Les étincelles abondantes, fines et serrées sont remplacées par la flamme après 2 minutes. La flamme, d'abord assez courte, moins sombre que pour les fontes grises, atteint sa longueur vers la quatrième minute ; à la cinquième, le dard est formé. Les détonations suivies de projections peu abondantes se succèdent de 6 à 8 minutes ; la montée est tumultueuse et la cheminée, dans le même temps, accuse des fumées d'oxyde de fer ; la flamme paraît toujours transparente après les détonations : vers 8 et 10 minutes la flamme s'accélère, commence à trembler, en même temps que des fumées apparaissent. La chute de la flamme a lieu après ces conditions moyennes vers 11 minutes et demie ; l'opération se termine comme la précédente. Les opérations peu régulières qui portent les n°ˢ 5 et 7 ont

offert des détonations suivies d'éruptions qui ont commencé beaucoup plus tôt et duré plus longtemps. Les périodes ont été encore moins distinctes.

Je conserve dans son entier le rapport du comité royal italien en en donnant la traduction. Le tableau original présentait les opérations dans l'ordre où elles ont été faites. J'ai cru, pour faciliter la discussion, devoir les grouper d'après les provenances des fontes essayées. Les numéros conservés à la deuxième colonne permettent de rétablir l'ordre primitif.

Rapport sur les expériences pour la conversion en acier des fontes d'Italie par le procédé Bessemer, exécutées dans l'usine de M. Bessemer, à Sheffield, par le comité royal italien pour l'exposition internationale de Londres.

La commission, composée de MM. les ingénieurs A. Ponsard, directeur des forges royales de la Toscane, chevalier C. Perazzi et E. Grabau, ingénieur au corps royal des mines, et présidée par le commissaire Devincenzi, commissaire général pour l'exposition internationale de Londres, suivant la décision prise par le comité royal de faire exécuter les expériences pour la transformation en acier de fontes italiennes par le procédé Bessemer, se rendit à Sheffield le 6 octobre, où elle s'arrêta pendant six jours, et présente aujourd'hui, au même comité royal, la relation suivante sur les essais faits et les résultats obtenus.

Les fontes italiennes, envoyées dans ce but au comité royal, étaient de trois provenances.

L'administration coïntéressée des mines et fonderies royales de Toscane envoya :

	kilogrammes.
Fonte grise manganésifère	3.000
— truitée manganésifère	3.000
— grise non manganésifère	3.000

Le chevalier Jules Curioni, membre du comité royal, envoya :

	kilogrammes.
Fonte grise du nouveau haut fourneau de Valle-Camonica, de M. Gregorini	3.000
Fonte truitée du haut fourneau de Pisogne, de M. S. Damioli	3.000

Enfin, les fonderies royales de Mongiana envoyèrent :

	kilogrammes.
Fonte grise	3.000
— mouchetée	3.000
— blanche	3.000

L'appareil qu'emploie M. Bessemer, dans son usine de Sheffield, contient environ 1.500 kilog. de fonte; le vent y arrive avec la pression d'une atmosphère, et la quantité d'air dont on peut disposer est de 54 mètres cubes environ par minute.

La fonte est fondue au réverbère, le combustible employé est le charbon fossile (houille).

On a opéré de la même façon dans toutes les expériences : après la fusion de la fonte au réverbère et l'achèvement de la période de conversion au moyen de l'air injecté dans l'appareil Bessemer, et avant de verser le produit dans les lingotières, on y ajoute environ 7 p. 100 de fonte manganésifère de Siégen ou de Toscane, fondue préalablement dans un petit compartiment du four à réverbère. Les particularités de chaque opération, et les résultats obtenus, sont consignés dans le tableau suivant :

Lettres indicatives.	N° d'ordre de l'expérience.	FONTE EMPLOYÉE. Provenance et marque.	FONTE EMPLOYÉE. Quantité.	TEMPS employé pour fondre la fonte au réverbère.	TEMPS employé pour transformer la fonte en acier.	FONTE AJOUTÉE DANS L'APPAREIL à la fin de l'opération. Provenance et marque.	FONTE AJOUTÉE. Quantité.	FONTE AJOUTÉE. Pour 100 de la fonte employée.	TOTAL de la fonte employée.	QUANTITÉ D'ACIER OBTENU. Lingots.	QUANTITÉ D'ACIER OBTENU. Résidus.	QUANTITÉ D'ACIER OBTENU. Total.	Marque des produits obtenus.	DIFFÉRENCE entre la fonte et l'acier obtenu pour 100 sur lingots.	DIFFÉRENCE pour 100 sur le total.	Observations.
			kilogr.	h. m.	minut		kilogr.		kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.				
a	*a*1	Follonica (à 25 kilomèt. environ de l'île d'Elbe).	1.226,72	2 10	22	Siegen, 1re qualité (manganésifère et cristalline)	88,79	7 1/3	1.315,51	1.032,84	101,47	1.134,31	F 1	21 1/2	14	(1)
»	»	Grise n° 1.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
b	*b*4	Follonica grise n° 1. . .	1.217,66	2 28	13	Follonica blanche (cristalline-manganésifère).	126.84	10	1.344,50	1.092,64	164,89	1.257.53	F 2	19	7	(4)
c	*c*7	Follonica truitée. . . .	1.225,36	2 00	11	*Id.*	98,79	7 1/3	1.314,15	1.024,58	. . . . .	1.024,58	F 3	21 1/2	21 1/2	(7)
d	*d*10	Follonica truitée.	1.230,34	2 30	13	*Id.*	88,79	7 1/4	1.319,13	1.124,34	76,10	1.200,44	F 5	14 3/4	9	(10)
e	*e*9	Follonica blanche cristalline.	1.293,76	2 40	11 1/2	*Id.*	88,79	7	1.382,55	1.094,75	101,47	1.196,22	F 4	21 1/2	14	(9)
f	*f*11	Follonica truitée et grise	1.344,49	2 32	11	*Id.*	95,13	7	1.439,62	1.107,13	. . . . .	1.107,13	F 6	22 1/2	22 1/2	(11)
g	*g*3	Lombardie grise.	1.223,10	2 40	12	*Id.*	88,79	7 1/3	1.311,89	1.040,10	101,47	1.141,57	L 1	20	13	(3)
h	*h*6	Lombardie grise.	1.369,87	2 15	17	*Id.*	98,30	7 1/4	1.468,17	1.286,97	30,80	1.317,77	L 3	12 1/4	10 1/4	(6)
i	*i*5	Lombardie truitée.	1.217,66	2 00	9	Siegen, 1re qualité (comme plus haut).	76,10	6 1/4	1.293,76	861,61	38,05	899,66	L 2	33 1/2	30 1/2	(5)
j	*j*12	Lombardie truitée et grise.	1.382,55	2 30	13	*Id.*	95,13	6 4/5	1.477,68	1.325,93	. . . . .	1.325,93	F 4	10	10	(12)
k	*k*13	Lombardie grise et follonica non manganésifère	1.331,81	2 25	12 1/2	*Id.*	88,79	6 2/3	1.420,60	1.167,93	50,73	1.218,66	L 5	18	14 1/2	(13)
l	*l*2	Mongiana grise.	1.219,02	2 53	13	*Id.*	88,79	7 1/3	1.307,81	768,29	279,05	1.047,34	N 1	41	20	(2)
m	*m*8	Mongiana mouchetée. . .	1.217,66	2 35	10 1/2	*Id.*	76,10	6 1/4	1.293,76	898,75	164,89	1.063,64	N 2	30 1/2	17 1/2	(8)
		Totaux.	16.500,00	»	»	»	1.189,14	6 3/4	17.689,13	13.825,86	1.108,92	14.934,78	»	17 1/2	14	

(1) La conversion en acier s'opéra régulièrement. Un lingot brut de 15 centimètres de section, cassé à froid, offrit une cassure d'un gris argentin, compacte, homogène, à très-petites lamelles et cavités légèrement oxydées sur les bords du lingot. Les plaques qu'on obtint au laminoir et les petites verges étirées au marteau réussirent parfaitement.

(4) La conversion procéda régulièrement. Caractères identiques à l'acier F1 avec nuance de la cassure un peu plus foncée.

(7) La conversion s'opéra avec activité et éruption abondante; on jeta un lingot d'environ 1 tonne, avec lequel on construisit le canon F3.

(10) La conversion s'opéra régulièrement. On jeta deux lingots de plus d'une tonne, avec lesquels on construisit le canon F5.

(9) La conversion s'opéra régulièrement.

(11) La fonte employée fut 2/3 truitée et 1/3 grise n° 2. Non manganésifère. Abondantes éruptions pendant l'opération.

(3) La conversion a marché rapidement, mais avec une régularité suffisante. L'ébullition fut violente et accompagnée d'une abondante éruption. Un lingot de 15 centimètres, [illegible]ssé à froid, présenta une cassure et une nuance semblables à F1. L'acier [illegible] [illegible]sire bien au marteau, mais pas aussi bien au laminoir.

(6) La conversion s'opéra régulièrement. On jeta un lingot d'une tonne, avec lequel on construisit le canon L3. Au marteau, il se comporta parfaitement bien.

(5) La conversion s'opéra avec une activité extraordinaire; après deux minutes commencèrent les éruptions qui ne cessèrent qu'à la fin de l'opération; on eut cependant de l'acier de bonne qualité.

(12) La fonte employée fut 2/3 truitée et 1/3 grise. On jeta un lingot de plus d'une tonne, avec lequel on construisit le canon L4.

(13) La fonte employée fut 3/5 de Lombardie et 2/5 grise n° 2 Fellonica. La conversion s'opéra régulièrement.

(2) La conversion ne s'opéra pas régulièrement. Un lingot de 15 centimètres de section, soumis à l'action du marteau, éclata en fragments et présenta une cassure spongieuse d'un blanc argentin et une texture exceptionnellement compacte entre les cavités. A chaud, il n'a pu être étiré au marteau.

(8) La conversion s'opéra rapidement avec de très-abondantes éruptions. Un lingot de 15 centimètres de section, cassé à froid, présenta une cassure d'une nuance argentine claire au centre, plus foncée vers la circonférence, compacte, homogène, granulaire, avec de très-rares cavités sur les bords du lingot. L'acier obtenu fut de qualité inférieure.

Les aciers obtenus avec les fontes manganésifères de Follonica sont de même qualité, et les différents essais de trempe, d'étirement au gros et au petit marteau, et même au laminoir, auxquels on les soumit, en démontrèrent les excellentes qualités.

On peut en dire autant des aciers obtenus avec les fontes grises de Lombardie, en sorte qu'il est difficile de donner les particularités qui les distinguent des premières.

L'acier obtenu avec la fonte truitée de Lombardie est de qualité un peu inférieure aux premiers; ainsi qu'à celui obtenu avec la fonte toscane, à l'essai dans lequel, au lieu d'ajouter à la fin de l'opération, de la fonte de Siégen, on ajoute de la fonte de Toscane blanche, très-manganésifère et cristalline.

La fonte mouchetée de Mongiana donna de l'acier de qualité inférieure; on ne put obtenir l'acier avec la fonte grise de la même fonderie; on n'essaya pas la blanche, prévoyant la mauvaise réussite de l'opération.

Afin de mettre les industriels italiens à même d'examiner les résultats qu'on obtint, la commission a cru devoir faire exécuter sous ses yeux, pour en constater l'identité, quatre canons, des lances de différentes épaisseurs, et une nombreuse série de verges de différents calibres. En outre, elle jugea convenable de conserver plusieurs lingots d'acier brut et quelques fragments, afin que le comité royal pût les mettre à la disposition des industriels qui voudraient les essayer.

Après avoir donné cette exposition succincte des résultats obtenus, la commission croit de son devoir de manifester l'opinion qu'elle s'est formée sur la question très-importante de l'introduction en Italie du procédé Bessemer.

Les nombreuses expériences faites montrent à l'évidence que les fontes toscanes et lombardes, surtout celles manganésifères, donnent d'excellents aciers avec le procédé Bessemer.

Si l'on considère que, grâce à ce procédé, par la seule opération de soumettre pendant quelques minutes la fonte en fusion à l'action d'un fort courant d'air, on peut retirer des fontes italiennes de l'acier fondu d'excellente qualité, en lingots de toute dimension, sans consommation de combustible, il est aisé de se rendre compte de l'immense avantage qu'on pourra tirer de son application.

Il est en effet incontestable que l'industrie sidérurgique italienne, dont le développement est aujourd'hui limité par le dé-

faut de combustible, retrouvera dans ce procédé une vie nouvelle, puisqu'il permettra de fabriquer en Italie l'acier fondu à un prix non supérieur, et avec une consommation de combustible inférieure à celle qu'exige aujourd'hui la fabrication du fer.

La sidérurgie européenne, préoccupée de la révolution qu'amène avec lui le procédé Bessemer, s'est, tard il est vrai, mais en un seul moment, décidée à l'adopter hardiment.

Il fonctionne déjà depuis plusieurs mois dans quelques établissements anglais, parmi lesquels celui très-important de M. John Brown et Cᵉ, de Sheffield, que la commission a visité.

En Prusse aussi, il est en activité dans les grandes usines de M. Krupp.

En France, dans celle de M. Jackson, à Saint-Seurin-sur-l'Isle, le procédé est introduit depuis environ trois ans, et les principaux établissements comme ceux de Schneider, au Creuzot, et de Petin-Gaudet, à Rive-de-Gier, ont déjà pris des licences pour son application : de plus, M. Gaudet, que la commission a eu le plaisir de rencontrer dans l'usine de M. Bessemer, assure que dans le courant du mois il fonctionnera dans ses établissements.

Ce procédé fut également introduit en Suède, où son application rend de grands services : on a adopté là les dispositions convenables pour que la fonte sortant du haut fourneau soit versée directement dans l'appareil Bessemer, économisant ainsi les dépenses de la fusion.

L'application toujours croissante de l'acier dans la fabrication des canons et des fusils, ainsi que la grande tendance qu'on a à substituer l'acier au fer, dans la construction de bateaux, de chaudières, des arbres moteurs et axes importants, dans le matériel des chemins de fer et les outils agricoles, assurent à cette industrie le plus brillant avenir.

La commission, convaincue des résultats économiques que la fabrication de l'acier par ce procédé peut apporter à l'industrie nationale, ne peut se dispenser de faire des vœux pour que les industriels italiens le prennent en sérieuse considération ; elle espère également que le gouvernement voudra entreprendre une série d'expériences sur les produits que le comité royal lui enverra, et en rendra publics les résultats.

Elle se croit enfin obligée d'exprimer ses remercîments à MM. Bessemer et Longsdon pour l'exquise complaisance et la franchise avec laquelle ils ont mis leur établissement à la disposition

de la commission, montrant par là que leur procédé n'avait rien à craindre d'une sérieuse et pratique investigation.

G. Devincenzi, *président.*
A. Ponsard.
C. Perazzi.
E. Grabau.

Sheffield, 11 octobre 1862.

Je partage complétement les idées émises dans ce rapport remarquable à tous les points de vue : les résultats obtenus, les conseils donnés, le but proposé aux recherches, aux essais, aux applications, tout y est exposé de la manière la plus heureuse et la plus utile. Je ne fais de réserve qu'à l'égard des noms qui devront être définitivement donnés aux divers produits qu'on obtient avec les fontes provenant des différents minerais, conformément aux principes que j'ai rappelés en commençant.

Afin de permettre d'apprécier la relation qui existe entre la qualité des minerais et la nature des produits obtenus, je viens compléter les renseignements du rapport en faisant connaître l'origine des fontes essayées.

Les fontes de Follonica (Toscane) proviennent de minerais de l'île d'Elbe, qui, comme on sait, sont des fers oligistes quelquefois en partie décomposés ; ces minerais ne sont pas manganésifères. Une partie de la fonte de Toscane essayée, celle qui est citée comme ayant donné de bons résultats, avait été rendue manganésifère au haut fourneau par l'addition, au lit de fusion, de minerai de manganèse pauvre provenant d'une mine de manganèse qui se trouve à Pignone (Spezzia).

Les fontes de Lombardie étaient de deux provenances différentes, mais obtenues cependant de minerais analogues et de même origine géologique. Ces minerais sont intercalés dans des schistes argileux, appelés *services*, qui appartiennent au trias et reposent sur le grès bigarré. Les fontes Gre-

gorini proviennent de minerais carbonatés décomposés, partiellement transformés en hydrates et oxydes. Le manganèse y paraît exister à l'état d'oxyde; les gangues sont des silicates fusibles. Ces minerais donnent de la fonte blanche ou grise à volonté, en faisant varier l'allure. Les fontes grises sont employées pour canons.

Les fontes Damioli proviennent de minerais de même gisement. Ces minerais sont des fers carbonatés compactes et blancs, dans lesquels la manganèse existe à l'état de carbonate. Ils donnent difficilement de la fonte grise et généralement de la fonte truitée peu fluide et sulfureuse. Ils ont une gangue formée de calcaire et de baryte sulfatée.

Les minerais fondus à Mongiana (Naples) sont des oxydes hydratés qui ne sont cités ni comme aciéreux, ni comme manganésifères.

Toute la fonte que l'on fabrique en Italie est au charbon de bois.

Discussion des expériences.

La lecture du tableau, par suite de l'ordre dans lequel les opérations y sont présentées, suffit pour mettre en évidence les faits suivants :

Lorsqu'on opère sur des fontes de même origine, la durée du traitement à l'appareil Bessemer est plus longue pour les fontes grises que pour les truitées, et même sensiblement plus longue pour les truitées que pour les blanches.

Les grands déchets correspondent aux éruptions violentes; les opérations qui donnent lieu aux éruptions sont, pour une même fonte, plus rapides que les opérations régulières.

En moyenne, la durée du traitement est plus longue pour les fontes provenant de minerais oxydés oligistes que pour les fontes de même nuance provenant de minerais carbonatés ou hydroxydés.

La durée de fusion au four à réverbère a varié, comme

on devait s'y attendre, avec les différentes fontes; mais pour les fontes grises de Lombardie, opérations *g* et *h*, l'opération *g*, irrégulière et accompagnée d'éruptions, correspond à une durée de fusion qui l'emporte de 25 minutes sur celle de l'opération *h*, qui a donné de bons résultats. On remarque encore que la fonte qui est demeurée plus longtemps dans le four à refondre, a exigé moins de temps pour son traitement à l'appareil, 12 minutes au lieu de 17. Les fontes de Toscane, opérations *a* et *b*, donnent lieu à la même observation. Pour les opérations *c* et *d*, sur lesquelles je reviendrai, la durée de fusion au réverbère est renversée, mais la durée de traitement est plus courte pour la mauvaise opération.

Pour une même fonte, l'augmentation du temps de fusion au réverbère, au delà de certaines limites, est donc suivie d'une opération plus rapide à l'appareil Bessemer avec allure moins régulière, éruptions plus abondantes, résultat moins bon.

Si les expériences ne fournissent pas assez de termes pour faire juger définitivement les conséquences des actions produites au réverbère, elles suffisent cependant pour attirer l'attention sur ce point. Je dois donc rappeler que la fusion dans ces fours peut modifier la nature de la fonte, en produisant un affinage incomplet qui porte surtout sur le silicium et les corps plus oxydables que le fer; qu'en général, cet affinage a pour effet de rendre la fonte moins fluide, phénomène qui se manifeste avec beaucoup d'intensité, surtout pour certaines fontes. L'affinage dans le four à réverbère est provoqué et favorisé de deux manières, par la prolongation de la durée de fusion, et alors il est facile d'en être averti; ou par l'introduction de l'air dans le four par une conduite du feu, mauvaise quoique rapide. L'affinage dans ce dernier cas ne peut plus être reconnu que par l'aspect de la fonte à la coulée. La rapidité de l'opération Bessemer peut indiquer qu'il a été produit. Les phénomènes

de durée qu'ont présentés les opérations *c* et *d* s'expliquent ainsi facilement.

La principale cause des éruptions paraît être le manque de fluidité de la masse. Dans les opérations régulières, ce manque de fluidité ne se manifeste que dans la troisième période; mais dans les opérations irrégulières, les éruptions se montrent dès le début de l'opération et continuent pendant presque toute sa durée. Le manque de fluidité paraît donc exister déjà réellement lors de l'introduction de la fonte dans l'appareil. Quand la fluidité a disparu par suite de l'action subie au réverbère, comme cette action est un véritable affinage, on conçoit pourquoi les opérations à éruptions doivent être plus rapides que les régulières, c'est qu'en effet il reste moins de corps oxydables à enlever.

Il importe d'adopter pour les fours à refondre les formes qui donnent la fonte la plus fluide et en même temps qui offrent le moins de danger d'affinage. On peut conclure également de ce qui précède que les corps enlevés par cet affinage sont plutôt utiles que nuisibles dans le traitement à l'appareil Bessemer, puisque leur disposition, même partielle, se traduit par un résultat moins avantageux.

Ces observations, contrôlées par l'expérience, ont sans doute conduit à l'établissement des principes adoptés pour les coupages, tels qu'ils ont été suivis dans les opérations *l* et *k*. On doit en effet associer toujours les fontes peu fluides avec celles qui le sont le plus, et particulièrement avec les fontes grises qui sont ordinairement chargées de silicium et résistent mieux à l'action du réverbère. Il faut donc tenir compte et de l'action du réverbère et des réactions à produire dans l'appareil.

Les coupages se présentent avec une allure moyenne entre les allures propres à chacune des fontes mélangées. L'intervention des fontes grises donne lieu à une augmentation de la durée du traitement.

Le coupage des fontes truitées de Follonica qui, traitées

seules, donnent des éruptions par une fonte grise non manganésifère, n'a pas fait disparaître ces éruptions (opération *f*). La fonte grise de Lombardie, manganésifère, ajoutée à la fonte truitée de Lombardie qui, traitée seule, donnait trop d'éruptions, les a fait disparaître (opération *j*). Le manganèse agit donc favorablement sur la marche des opérations, et sa présence dans les fontes est utile, puisqu'elle contribue à faire disparaître les éruptions.

La substitution de la fonte blanche manganésifère de Follonica à la fonte cristalline de Siegen employée pour l'addition finale a donné également un résultat un peu inférieur. Autant qu'on peut le conclure d'un seul fait, la fonte employée pour l'addition ne saurait être choisie avec trop de soin parmi les fontes manganésifères les plus aciéreuses.

Toutefois, il y a lieu d'observer que cet essai n'a pas été fait dans des conditions qui permettent une bonne comparaison de l'emploi des deux fontes. On a ajouté la fonte blanche de Follonica après une opération *b*, relativement rapide et dont la durée n'a été que de 13 minutes au lieu de 22 qu'avait exigées l'opération *a*, très-régulière, faite sur la même fonte. De plus, la fonte élaborée dans l'opération *b* était restée au réverbère 18 minutes de plus que la précédente; enfin, la fonte de Follonica a été employée en proportion de 10 p. 100 de la masse au lieu de 7 1/3 p. 100, proportion adoptée dans toutes les opérations pour la fonte de Siegen. Ces différences ont pu contribuer à donner au produit un grain plus sombre et peut-être une dureté assez grande pour nuire à l'étirage.

Les aciers obtenus avec les fontes manganésifères de Follonica et ceux qui ont été produits avec les fontes grises de Lombardie, qui sont manganésifères, ont paru de bonne qualité. L'aspect et les essais d'atelier n'ont pas conduit à établir entre eux une notable différence. Il y a cependant lieu d'examiner si ultérieurement les usages industriels ne

feront pas reconnaître une supériorité en faveur des aciers obtenus avec ceux des minerais que les méthodes ordinaires conduisent à considérer comme les plus aciéreux.

Avec cette réserve, on peut donc dire que les minerais de l'île d'Elbe passés au haut fourneau avec addition de manganèse et les minerais carbonatés de Lombardie produisent des fontes qui sont traitables avec avantage au procédé Bessemer.

Les fontes truitées de Lombardie ont donné, il est vrai, des résultats un peu inférieurs. Cela tient surtout au manque de fluidité de ces fontes, et il a suffi d'y ajouter de la fonte grise (opération *j*) pour obtenir une bonne marche et un bon produit.

Les fontes de Mongiana, provenant de minerais oxydés, qui ne sont considérés ni comme aciéreux ni comme manganésifères, ont présenté à l'appareil une allure très-irrégulière et ont donné des produits qui n'ont pu être étirés. Le comité royal italien, guidé par l'insuccès des deux essais (opération *l* et *m*) et par l'expérience de M. Bessemer, n'a pas cru devoir essayer la fonte blanche provenant de ces minerais, jugés peu propres au traitement et par leur allure et par le peu de valeur des produits qu'on en a retirés.

Diverses publications et communications ont fait connaître qu'en Angleterre on est arrivé à traiter avec succès des fontes au coke, notamment celles qu'on obtient avec les hématites rouges du Cumberland (*hematic cleator*) et avec les fers spathiques et les hématites de la forêt de Dean (*Weardale Iron*), qui donnent de bons produits (*). On y ajoute toujours à la fin de l'opération de 7 à 10 p. 100 de fonte de Siegen.

Le traitement des fontes au coke, que plusieurs personnes

(*) Voir dans les *Annales des mines* le mémoire de M. Gruner, ingénieur en chef des mines.

ont été admises à suivre dans les ateliers de M. Bessemer, donne lieu aux mêmes phénomènes d'allure que celui des fontes au bois. Je n'ai pas entendu citer d'expériences comparatives faites au moyen de fontes obtenues des mêmes minerais au coke et au bois.

Les phénomènes d'allure, la durée du traitement paraissent dépendre beaucoup plus du numéro de la fonte (d'après sa couleur, qui est au moins un indice de l'état de combinaison du carbone) que de la nature du combustible employé au haut fourneau pour l'obtenir. Toutefois on n'a encore signalé parmi les fontes avantageusement traitées, c'est-à-dire donnant des produits étirables dont la véritable valeur ne s'établira que par le prix de la vente régulière, que les fontes au coke, nos 1 et 2, provenant de bons minerais traités avec du coke de bonne qualité. Ces résultats suffisent pour prouver que l'emploi du bois n'est point indispensable pour obtenir des fontes traitables et donnant des produits susceptibles d'être utilisés.

Lorsqu'on emploie des minerais différents, les phénomènes d'allure sont changés, mais ces changements sont peu importants : ils portent particulièrement sur la couleur des flammes et l'abondance des éruptions. Quant à la durée du traitement, elle est surtout modifiée par le numéro de la fonte. Ce fait semble prouver que l'état de combinaison des éléments de la fonte, et particulièrement celui du carbone, qui est manifesté par l'apparence de cette fonte, influe plus sur la durée du traitement que la composition chimique absolue, lorsque celle-ci varie dans des limites qui permettent l'emploi du procédé.

L'ensemble des expériences publiées conduit à rechercher les types les plus avantageusement traitables dans les fontes blanches fusibles, et grises siliceuses provenant de minerais manganésifères considérés comme aciéreux, et par suite assez purs.

Les conclusions du mémoire montrent comment la qualité

des produits dépend toujours principalement de celle des minerais. Ce fait vient encore confirmer tous ceux connus jusqu'aujourd'hui.

Quant au traitement pour acier des fontes au coke provenant de minerais de qualité aciéreuse reconnue, il était facile de le prévoir par les résultats obtenus dans le puddlage de ces mêmes fontes pour acier.

Dans la discussion qui précède, je me suis servi exclusivement des faits les plus caractéristiques et les plus faciles à observer, et n'en ai tiré d'autre conséquence que celles auxquelles conduit le rapprochement de ces faits entre eux. Il y a lieu cependant de pénétrer plus avant dans l'étude des phénomènes que présente ce mode d'affinage en abordant les détails et au besoin les hypothèses simples qui ont été supprimées avec soin dans ce qui précède pour conserver aux conclusions leur véritable caractère exclusivement pratique.

Sans parler des incertitudes que présente encore le dosage du carbone, l'application de l'analyse chimique à l'étude du traitement Bessemer offre des difficultés spéciales pour faire les prises d'essai; pour mesurer la quantité et apprécier la nature des déchets après chaque période. De plus les laitiers et scories sont toujours composés à la fois des éléments de la fonte et de ceux du revêtement de l'appareil. Lorsque l'appareil est neuf, les éléments du revêtement dominent; lorsque, au contraire, il a servi à d'autres opérations, les laitiers qui le tapissent se mêlent à ceux qui résultent de diverses phases. Les vérifications qu'on pourrait attendre de la pesée du métal sont à peu près impraticables à cause des dépenses qu'elles entraîneraient s'il fallait arrêter des opérations dans divers états d'affinage.

La discussion que je vais continuer avec les seules données de la métallurgie pratique aura, dans tous les cas, pour utilité de préciser et de faire connaître les points délicats; elle me fournira l'occasion de revenir sur les faits de détail supprimés dans ce qui précède.

Essai sur la nature des combustions produites dans les diverses périodes.

1re *Période des étincelles.* — La chaleur augmente et les étincelles se montrent sans flamme. La combustion qui produit cette augmentation de chaleur nécessaire pour conserver la fonte liquide et avancer la marche de l'opération, ne donne lieu qu'à une production extrêmement faible de gaz combustible, si toutefois cette production a lieu. Le courant qui sort de l'appareil est encore oxydant, car les étincelles brûlent aussi bien dans sa partie centrale, à la sortie de la gueule du convertisseur que sur les bords et à son extrémité seuls en contact avec l'air extérieur. Si on coulait, après cette période vers l'arrivée de la flamme, on obtiendrait une fonte blanchie ayant subi une sorte de mazéage et un déchet extrêmement faible.

Ces faits conduisent à penser qu'une partie de l'oxygène traverse la fonte sans être absorbée ; que la combustion se fait en grande partie aux dépens des corps plus oxydables que le fer sans porter encore sensiblement sur le carbone et sur le fer, quoique l'exclusion de ces deux corps ne soit pas absolue. Les étincelles sont au moins aussi caractéristiques de la combustion du silicium et du manganèse métallique que de celle du fer.

Il y a donc lieu de conclure que la chaleur de la mise en train est fournie surtout par la combustion des corps plus oxydables que le fer, particulièrement du silicium ; que le carbone, s'il est brûlé, donne lieu à une production d'acide carbonique et que la température de la masse n'est pas assez élevée pour que l'oxygène soit absorbé en totalité.

2e *Période.* — *Flamme avec dard.* — La nature de la flamme avec tendance à présenter un dard analogue à celui d'une bougie, démontre que la combustion du carbone, dans les conditions où elle s'effectue, est suivie d'une pro-

duction d'oxyde de carbone : l'oxygène qui traverse la fonte est absorbé en totalité ; car le jet gazeux qui sort de l'appareil ne brûle que sur les bords et à l'extrémité, là où se produit le contact de l'air. Si la flamme n'a pas la couleur bleue caractéristique de la combustion de l'oxyde de carbone, cela tient uniquement à ce qu'elle est colorée par la présence de parcelles métalliques entraînées. On assiste ainsi à la combustion régulière et probablement directe du carbone.

3ᵉ *Période.* — *Détonations, éruptions.* — Cette période correspond à une véritable montée tumultueuse. Le bruit, les éruptions, la diminution de pression sur les tuyères suffisent pour mettre ce fait hors de doute. Le fer brûle directement, au moins en partie, et sa combustion est partiellement très-vive, puisque l'oxyde de fer est entraîné à l'état de fumée, et que les déchets augmentent rapidement.

Il ne faut pas oublier que la fonte est alors en grande partie affinée au point de présenter un commencement de malléabilité très-prononcée, et qu'elle est par suite devenue visqueuse. La masse soulevée monte en formant des bulles ou des cloches, et les détonations se produisent toutes les fois que ces cloches, crevant les unes dans les autres, présentent l'oxygène et l'oxyde de carbone dans les proportions qui rendent les détonations possibles. Une partie de l'oxygène traverse donc la masse sans être entièrement absorbée ; cela montre qu'il y a des actions locales, partielles et différentes qui peuvent résulter simplement de l'état pâteux. Ces actions sont d'ailleurs toujours augmentées quand la masse a par elle-même une tendance à devenir peu fluide. La flamme continuant, le carbone peut être en même temps brûlé directement par l'oxygène et indirectement par l'oxyde de fer ; mais il y a toujours conservation de production d'oxyde de carbone.

4ᵉ *Période.* — *Calme avec flamme.* — La flamme conserve sa longueur : les fumées de fer persistent, les déto-

nations cessent, mais le déchet augmente de plus en plus rapidement. La persistance de la flamme prouve que le gaz combustible est toujours produit en abondance, mais la cessation des détonations montre qu'il n'y a plus d'actions partielles et différentes; ce résultat provient de ce que le fer a acquis une température suffisamment élevée pour absorber en totalité l'oxygène qui le traverse. La combustion des dernières traces du carbone, sans doute du carbone graphite qui est le plus difficilement combustible, paraît avoir lieu indirectement par l'oxyde de fer libre ou combiné. Le fer est devenu franchement et presque exclusivement le combustible de cette période. Son affinité pour l'oxygène accrue par la température, et l'action de masse qui est en sa faveur, le portent alors à brûler plus facilement que le soufre, le phosphore et les corps qui ont échappé à la combustion dans les périodes précédentes. La limite de l'affinage possible se trouve ainsi atteinte.

La flamme, d'un blanc lumineux, est rendue plus éclatante par suite de l'augmentation croissante des parties métalliques entraînées; elle tombe en général quand les dernières parties du carbone ont disparu. La flamme courte et fuligineuse qui reste n'est plus due qu'à la combustion du fer et des éléments qui ont pu échapper à l'affinage. Le produit final est toujours très-liquide. C'est un fer fondu suraffiné ou oxygéné qui, refroidi, présente l'aspect et les propriétés du fer plus ou moins brûlé. Ce fer brûlé demeure chargé de gaz, et il importe de noter que ces gaz sont ceux qui peuvent exister dans une masse complétement en voie d'oxydation.

Les laitiers qu'on trouve à la fin de l'opération coulent avec facilité, ils sont vitreux et se colorent en noir par le refroidissement à leur partie extérieure, ils restent dans leur intérieur d'un jaune verdâtre; leur cassure offre toujours de petites cavités dans lesquelles on retrouve souvent des grenailles métalliques. Les expériences que j'ai citées men-

trent comment les déchets varient selon la nature des fontes et la marche plus ou moins régulière de l'opération.

Si, après avoir atteint le fer brûlé, l'on continue l'insufflation de l'air, les déchets augmentent de plus en plus et le revêtement réfractaire s'use avec une rapidité dangereuse pour la conservation de l'appareil.

Cet examen fournit de nouvelles indications sur les conditions que doivent remplir les fontes pour présenter une allure régulière et donner un traitement acceptable. On voit que ce qu'il importe d'obtenir pour arriver à une bonne marche de l'opération, c'est le départ régulier du carbone et celui des corps étrangers avant que le fer n'ait atteint sa très-haute température. Il paraît utile, sinon nécessaire, d'accepter dans les fontes l'existence du silicium, qui fait les frais de la combustion initiale, jusqu'au moment où la température est suffisamment élevée pour que le départ du carbone puisse se faire. Plus le carbone sera combustible (ce qui est le cas des fontes blanches), moins la présence des corps qui fournissent la combustion initiale sera indispensable. On conçoit, par suite, qu'il soit possible, dans certains cas, d'affiner des fontes très-pures.

L'étude pratique doit porter sur le rôle et le mode d'introduction des corps participants à la combustion qui précède la combustion vive du fer et qui par leur nature pourraient favoriser le départ du soufre et du phosphore, et des corps qui échappent à l'affinage de certaines fontes.

Il peut être utile d'étager, pour ainsi dire, le départ du carbone, au moyen des coupages de fonte, en partant de cette donnée que le carbone combiné se brûle avant le carbone graphite, ce qui est suffisamment prouvé par la durée relative du traitement des différentes fontes.

Le manganèse participe probablement à la combustion initiale; il possède en outre la propriété d'augmenter la fluidité des laitiers. Dans tous les cas, il importe d'avoir des laitiers et des fontes fusibles et exposés le moins pos-

sible à passer en même temps par l'état pâteux au moment de la montée.

En rapprochant ces indications de celles que j'ai données en parlant des coupages ou mélanges des fontes, on peut arriver assez facilement dans la pratique à reconnaître la nature des fontes qui doivent être mélangées avec celles qui donnent lieu à un traitement difficile ou à des déchets trop abondants, tout en fournissant cependant un produit de qualité acceptable.

Il existe un moyen qui permet d'éviter les coupages et de préparer directement les fontes pour le traitement à l'appareil Bessemer. Il consiste à opérer sur la composition du lit de fusion destiné à être passé au haut fourneau.

Les renseignements contenus dans le rapport du comité royal italien en fournissent un très-bon exemple. Les fontes de Follonica, obtenues avec des minerais de l'île d'Elbe, qui ont été rendues manganésifères par addition au lit de fusion de minerais de manganèse pauvres, se sont montrées bien plus régulières d'allure que celles qui ont été produites sans cette addition. Je ne saurais trop recommander de généraliser ce mode de préparation qui permet d'introduire dans la fonte tous les corps dont la présence est nécessaire pour assurer la régularité des combustions successives et conserver la fluidité dans toutes les périodes du traitement; il y a là toute une série d'essais à tenter, particulièrement pour l'attaque du soufre et du phosphore, essais dans lesquels on sera guidé par l'exposé qui précède. C'est surtout en vue de l'allure et de la facilité du traitement que les additions au lit de fusion devront être faites.

Nature des produits obtenus.

Lorsqu'on a opéré sur des fontes au coke ou au bois provenant de minerais reconnus aciéreux, tels que les minerais de Suède et les minerais carbonatés ou hématites manga-

nésifères employés industriellement dans les élaborations pour acier, on est arrivé, dans les expériences citées et dans celles qui ont été publiées jusqu'à ce jour, à obtenir par le traitement direct à l'appareil Bessemer un produit fondu, homogène, étirable et prenant la trempe qui, il y a tout lieu de l'espérer, figurera avec avantage dans l'industrie sous le nom d'acier Bessemer.

Cet acier, outre l'économie de sa production sur laquelle je reviendrai, se présente avec une soudabilité qui semble plus marquée que celle des aciers fondus ordinaires; et il paraît avoir la faculté de tenir mieux au feu, c'est-à-dire de craindre moins la détérioration à une chaleur vive que ne le font en général les aciers fondus de qualité comparable obtenus de minerais analogues par les autres méthodes. Une plus longue expérience industrielle montrera si ces avantages sont aussi réels qu'il y a lieu de l'espérer.

Le traitement des fontes provenant de minerais sans qualités, réputés non aciéreux, telles que celles de Mongiana, ne donnent que très-difficilement, parfois accidentellement, un produit étirable qui n'a pas les propriétés de l'acier. Je ne connais pas d'exemple qui permette d'espérer le traitement des fontes blanches au coke n° 3, des fontes obtenues par surcharge ou réputées phosphoreuses ou très-sulfureuses, ou enfin de fontes qui ne donnent que des fers inférieurs.

En conservant l'addition finale de fonte cristalline aciéreuse de Siégen, si l'on opère dans l'appareil sur des fontes au coke ou au bois donnant, par l'affinage, de bon fer, mais réputé peu ou point aciéreux; et, plus généralement, si l'on opère sur des fontes d'affinage que le puddlage pour acier ne juge pas avantageux d'accepter parce qu'elles donnent des aciers sans qualités, on peut encore espérer d'obtenir, mais toujours avec plus de difficulté et d'incertitude que pour les fontes aciéreuses, un produit fondu, étirable, ayant l'aspect de l'acier plus ou moins dur. Ce produit a l'inconvénient de prendre faiblement la trempe et surtout celui de perdre

très-rapidement, par les retours au feu, ses apparences d'acier. Il ne devient donc susceptible d'applications utiles que pour les emplois dans lesquels on n'aurait pas besoin de faire appel à la trempe et à la conservation de propriétés aciéreuses. Ce métal, que certains fabricants de Sheffield refusent avec raison d'accepter comme acier, mais avec lequel ils ont une tendance à confondre tous les produits de l'appareil Bessemer, sans les distinguer suffisamment par l'origine des minerais, me paraît en effet devoir être considéré comme un produit industriel nouveau auquel je proposerai de laisser, provisoirement au moins, le nom de métal Bessemer.

Cette distinction peut sembler délicate, mais je crois indispensable de l'établir au point de vue des applications à entreprendre dans l'intérêt même de la nouvelle méthode. Elle va d'ailleurs être rendue plus sensible par les considérations suivantes :

On sait que tous les fers peuvent se cémenter et prendre par la cémentation l'aspect de l'acier plus ou moins parfait. Les fers non aciéreux cémentés, puis refondus, me paraissent donner un produit analogue au métal Bessemer, qu'on obtiendrait en traitant à l'appareil les fontes qui ont produit ces fers. On peut encore obtenir un autre produit comparable, en fondant au creuset du fer non aciéreux avec un mélange de fonte de Siégen ; mais les frais toujours élevés de la fusion au petit creuset donnent à ces deux métaux un prix très-élevé qui, en présence de leur peu de qualité, s'était toujours opposé, jusqu'à présent, à leur emploi industriel.

Du reste, ce dernier moyen de préparer l'acier, par simple fusion avec mélange de fonte, même des fers aciéreux, n'est pas estimé ; on ne l'emploie que pour des produits inférieurs ou spéciaux auxquels on donne, en Angleterre, le nom de métal homogène.

Le produit que j'appelle métal Bessemer, devient donc

acceptable dans l'industrie, malgré l'instabilité et l'insuffisance de ses qualités comme acier, à cause de son faible prix de revient, parce qu'il peut être offert dans des conditions de prix qui permettent de l'utiliser avantageusement avec ses qualités secondaires.

On ne peut attribuer à l'emploi de la fonte de Siégen, qui sert à l'addition, la propriété de convertir tout en acier et en véritable acier dix fois son poids de fer brûlé obtenu au procédé Bessemer avec des fontes provenant de minerais non aciéreux. Cela est plus impossible que de convertir en acier le fer, obtenu de ces minerais par les méthodes ordinaires, en le fondant au creuset avec de la fonte de Siégen. Ce dernier essai, facile à réaliser avec les différents fers, lèvera tous les doutes sur la qualité de ces produits analogues à ce que j'appelle métal Bessemer.

La faculté aciéreuse n'a encore été donnée par aucune addition connue aux fers considérés par l'usage comme non aciéreux. La pratique industrielle ne montre aucun fait de ce genre comme servant de base à la production régulière d'une usine.

Les méthodes d'élaboration pour acier (et rien ne porte à considérer le procédé Bessemer autrement que comme une méthode, pour laquelle j'ai indiqué la limite de l'affinage possible) ne sont que des moyens de retirer des minerais ce qu'ils contiennent, en communiquant au métal qu'on en extrait les propriétés spéciales qu'ils lui permettent de recevoir. Pratiquement il est donc impossible de voir autre chose dans une méthode ; et si l'on peut espérer un jour des progrès de la chimie auxquels on ne saurait assigner de limites *à priori*, la conversion des fontes ou fers non aciéreux en véritables aciers, capables d'être acceptés comme tels par l'usage industriel, il ne faut pas se dissimuler que la métallurgie pratique y verra une transformation que les faits connus jusqu'à ce jour portent à considérer encore comme bien peu probable ; car l'influence prédominante

des minerais sur la qualité des aciers qu'on en obtient n'est infirmée par aucune des méthodes pratiques connues, même les plus nouvelles.

Le procédé Bessemer est donc bien une méthode d'affinage de la fonte qui permet d'obtenir des produits fondus, que je suis conduit à distinguer en acier Bessemer, obtenu par le traitement des fontes provenant de minerais aciéreux, et en métal Bessemer, obtenu avec des fontes provenant de minerais non aciéreux.

L'acier Bessemer, ainsi défini, est propre à la plupart des emplois de l'acier; mais à cause de son faible prix de revient et de la facilité avec laquelle on peut l'obtenir par masses, il semble appelé à rendre de grands services pour toutes les nouvelles applications de l'acier dans la voie desquelles la grande industrie paraît entrée définitivement.

Le métal Bessemer, dans des conditions de prix de fabrication analogues, devient dans certaines conditions un métal supérieur au fer. Il est destiné aux grosses pièces, arbres, rails, etc., particulièrement pour tous les emplois pour lesquels les retours au feu ne sont pas nécessaires et qui n'exigent aucune qualité autre qu'une grande résistance. Son usage permettra de profiter des facilités qu'offre la fusion pour la fabrication des pièces dont le travail est rendu difficile soit par les dimensions, soit par la complication des formes.

Enfin, les aciers Bessemer, produits à l'appareil par le traitement d'une même fonte, peuvent être obtenus avec les divers degrés de dureté qu'il est d'usage d'établir pour les aciers d'une même origine et d'une même fabrication. Le métal Bessemer, toujours plus difficile à obtenir, ne paraît pas présenter une série aussi étendue de termes étirables, et l'étude des diverses duretés se trouve pour lui remplacée par celle du maximum de résistance ou de soudabilité.

Considérations générales sur la méthode Bessemer.

Cette méthode réalise une grande économie de combustible sur les consommations exigées par les méthodes antérieurement connues pour arriver à fournir un produit analogue. Son produit est fondu, et, dans tous les cas, doit être comparé au métal ou à l'acier fondu qu'on obtient avec les méthodes usuelles, en employant la fusion au creuset, la seule encore aujourd'hui industriellement pratiquée.

Si, pour établir la comparaison, on part de la fonte comme dans le procédé Bessemer, on admettra qu'il faut pour affinage suivi de cémentation au moins 2 1/2 de houille pour 1 de fer cémenté, et pour fusion 2 1/2 de coke pour 1 de métal fondu. Le coke évalué à un rendement de 60 p. 100, cela donne environ 7 parties de houille consommée pour 1 de produit obtenu. Si, au lieu d'employer la cémentation, on affine pour fer, et si l'on refond ce fer au creuset avec un mélange de fonte de Siégen, on obtiendra un produit inférieur en réalisant une économie de 1 de houille. Si, enfin, on puddle pour acier et refond le produit au creuset, la consommation sera réduite de la même quantité, et il reste encore, en nombres ronds, à dépenser 6 parties de houille pour 1 de métal fondu.

Comme je l'ai dit, la méthode Bessemer part de la fonte liquide qui, en réalité, est le véritable produit du haut fourneau; elle exige, il est vrai, une consommation de force pour la marche de la machine soufflante ; mais cette force peut être fournie par un moteur quelconque et n'exige pas impérieusement une consommation de combustible pour sa production. La seule consommation nécessaire est celle qui provient de l'obligation de chauffer le convertisseur et la poche de distribution : le poids de ce combustible s'élève au plus aux 2/10 du métal obtenu.

Dans le cas où la fonte destinée au convertisseur doit être

refondue, la fusion consomme environ 60 p. 100 du poids de la fonte en houille : par conséquent, même dans le cas le plus défavorable, il suffit d'une partie de combustible, houille ou équivalent, en employant l'appareil Bessemer, pour remplacer les 6 ou 7 parties de combustible évaluées en houille, qui sont toujours exigées par les autres méthodes pour arriver au produit comparable. Il y a donc toujours en faveur du traitement Bessemer une économie de 5/6 ou de 6/7 de combustible.

La main-d'œuvre, la consommation de terre réfractaire, l'entretien de la machine, donnent lieu à des frais peu élevés dont on peut se faire facilement une idée. Pour l'arsenal de Woolwich, M. Bessemer évalue le prix de revient de son acier à 162 francs la tonne, en employant des fontes de 89 à 91 francs la tonne. Il y a lieu d'admettre ces prix de revient publiés, en les faisant varier pour les divers pays avec les données qui leur sont particulières.

En dehors de toute autre considération, la méthode Bessemer présente donc une grande économie, et cette économie porte surtout sur le combustible, ce qui est très-intéressant pour les pays et les régions où le combustible est cher. Cette nouvelle méthode, en se développant, pourrait par suite conduire dans l'avenir à un déplacement de certaines suprématies métallurgiques.

La découverte de M. Bessemer a un caractère particulier d'opportunité. Jamais méthode n'est arrivée dans des circonstances plus favorables à son développement. La période industrielle que nous traversons réclame la satisfaction de ses besoins d'une manière impérieuse et immédiate : dans ses nouvelles applications de l'acier, elle paraît disposée à sacrifier volontiers la recherche de la supériorité et de la perfection à l'emploi prompt et facile par masses illimitées. La tendance à économiser le temps est exagérée parfois jusqu'à conduire à sacrifier cet élément si souvent indispensable. En métallurgie, la méthode qui m'occupe apporte donc la

satisfaction idéale de cette tendance que je ne fais que constater. En moins d'une heure, la fonte liquide peut passer à l'état de produit étiré propre à être livré au commerce. Les procédés de cémentation suivie de fusion exigent des semaines entières pour arriver au même résultat.

La fonderie dite au petit creuset donne couramment des lingots de 20 à 40, par exception déjà des lingots de 100 kilogrammes. On n'y obtient que par de véritables tours de force des lingots de plusieurs milliers de kilogrammes, et l'on se fait difficilement une idée de la peine que l'on éprouve pour réaliser ces impossibilités. Les convertisseurs, suivant leurs dimensions, peuvent donner par opération le produit fondu par masse de 1.000, 2.000, jusqu'à 5.000 kilogrammes.

Les appareils connus permettent d'espérer le succès d'autres plus puissants encore. Si l'on réunit le produit de plusieurs convertisseurs (ce qui sera toujours délicat au point de vue de l'uniformité des masses, par suite de la difficulté que présente toujours le mélange intime des liquides; mais ne donne lieu, en somme, qu'à une difficulté de même ordre que celle qu'on retrouve dans la réunion de l'acier provenant de plusieurs creusets, pour la coulée d'une même pièce), on peut arriver à des masses dont la limite n'est pas encore assignable.

Le produit s'obtient par des réactions chimiques. Toutes les manœuvres à exécuter pendant l'opération peuvent être faites par des machines à vapeur ou hydrauliques, sans autre intervention que celle d'un opérateur habile. L'homme, dans cette méthode, observe, juge et dirige; il est vrai que par compensation elle exige un opérateur doué d'une certaine habileté. Cela constitue toutefois une bien grande différence avec le travail physique si pénible des fours à puddler et des fonderies.

La question des masses est abordée, comme au haut fourneau, au moyen des actions calorifiques; l'appel à la

fusibilité dispense, pour obtenir ces masses, des efforts mécaniques violents que nécessite au contraire l'appel à la soudabilité et qui constituent une opération distincte. Lorsque les efforts mécaniques appliqués au soudage des trousses sont fournis par des machines à vapeur, on comprend que la chaleur produite par la combustion de la houille n'est employée que par l'intermédiaire de ces machines et des outils qu'elles servent à manœuvrer et que l'on doit payer dans leur usage, pour arriver au résultat, la déperdition inévitable qu'entraîne la transformation de la chaleur en force mécanique et la transformation inverse.

Le métal et l'acier Bessemer offrent tous deux une grande résistance. Dans les expériences faites à Woolwich par le colonel E. Wilmot, les aciers Bessemer ont résisté à des charges de plus de 100 kilogrammes par millimètre carré et se sont montrés plus tenaces que les bons aciers ordinaires. Le métal et l'acier peuvent être obtenus très-économiquement et fournis par masses avec la plus grande facilité. Leur emploi, dans les organes des machines, offre de nouveaux moyens d'augmenter la puissance de ces machines, par suite, celle des outils destinés aux élaborations métallurgiques.

De la division des opérations en métallurgie.

La métallurgie du fer, telle que nous la voyons pratiquée, emploie le carbone et l'oxygène à la fois comme réactifs chimiques et comme agents calorifiques; elle se sert donc des mêmes corps pour obtenir la transformation des combinaisons naturelles et artificielles, et pour produire la chaleur nécessaire à leur transformation. En présence de ces deux rôles distincts des corps engagés dans toute opération métallurgique, il importe d'examiner toujours avec soin quelle est la nature de l'intervention qu'on en attend.

Le carbone et l'oxygène peuvent tous deux se combiner avec le fer, et l'action de chacun d'eux paraît directement

opposée à celle de l'autre, à tel point qu'il le chasse de sa combinaison pour l'y remplacer. Dans la simple combustion les résultats sont ou l'oxyde de carbone, ou l'acide carbonique avec ou sans excès d'oxygène. Les produits gazeux de chacune de ces sortes de combustion agissent chimiquement sur le fer d'une manière opposée en déterminant soit la combinaison du carbone, soit celle de l'oxygène.

Dans toute opération, on doit veiller à ce que le carbone et l'oxygène employés comme agents calorifiques ne puissent jamais produire, même accidentellement, de réactions chimiques opposées à celles que la chaleur doit favoriser.

Le parallélisme absolu des réactions directes et de celles qui sont indirectement produites par la combustion dans une même opération, lorsque tous les corps sont contenus dans un même appareil, n'est pas toujours facile à réaliser. On comprend, par suite, la complication inévitable qui se produit lorsque l'on opère au contact du combustible, particulièrement dans des appareils très-petits, dans lesquels les différentes zones de combustion oxydantes ou carburantes sont forcément voisines et parfois mélangées.

C'est pour cela que les anciennes méthodes qui passent du minerai au métal en opérant dans de très-petits foyers, n'arrivent à obtenir leurs produits qu'à l'aide de toutes les ressources du travail intelligent qui seul peut conserver un sens général de mouvement, en acceptant une série de fausses positions; parce qu'il réussit à les détruire sans cesse par les tours de main. Ces méthodes sont donc condamnées à payer en consommation de combustible et en main-d'œuvre la plus coûteuse de toutes les forces, les déperditions qui résultent naturellement de la mise en présence d'actions opposées avec succession inévitable d'effets contraires.

En suivant cet ordre d'idées, et surtout si l'on pense à tous les inconvénients du contact des minerais avec les

combustibles impurs, on serait tenté de chercher le progrès de la métallurgie en engageant dans l'intérieur d'un vase les minerais mélangés des seuls réactifs, et en chauffant ce vase extérieurement. La distinction des rôles est alors bien nette, et l'on n'a plus à craindre les effets des combustibles ; mais on se trouve en présence de difficultés nouvelles : l'imperméabilité des vases par la chaleur fait retomber sur les grandes consommations de combustibles; et, dans d'autres cas, la fusibilité de ces vases empêche d'obtenir la température nécessaire à certaines réactions, et particulièrement à la séparation des gangues au moyen de la fusion. Je ne traite ici la question que d'une manière générale.

Le principe de la division des actions chimiques en opérations distinctes, et en acceptant le contact du combustible, sauf à déterminer toujours le sens de la combustion, a été aussi fécond en métallurgie que l'a été d'une manière plus générale, dans l'industrie, le principe de la division du travail, dont il n'est qu'un cas particulier. Le haut fourneau fut la première grande application de cette division des opérations de la métallurgie, qui, depuis sa découverte, se distinguent en carburations et oxydations.

Dans le haut fourneau, en effet, on s'efforce de faire subir au métal le maximum de l'action carburante, qui fournit le meilleur moyen d'arriver à la séparation complète, par la fusion, des parties métalliques et des matières terreuses, toujours très-abondantes, que renferment les minerais de fer. Le départ à la fusion a lieu, en effet, entre les métaux carburés et les gangues oxydées; en profitant d'une propriété du carbone pour protéger le fer de l'entraînement dans le laitier oxydé; comme on profite d'une propriété du soufre pour retenir le cuivre dans les mattes en dehors des scories oxydées. Cette action se produit dans la cuve par l'intervention lente et progressive de l'oxyde de carbone gazeux sur un métal devenu poreux et demeurant solide, de telle sorte que le métal est non-seulement pro-

duit, mais carburé, et qu'il devient ainsi capable d'échapper aux réactions des gangues au moment où la fusion pourrait amener son entraînement par les silicates s'il était encore facilement oxydable. Tant que le combustible est réellement en contact du minerai ou du métal, le sens de la combustion est assuré de manière à favoriser l'action carburante; mais par une solution des plus heureuses, on peut accepter dans le même appareil le maximum d'effet calorifique du carbone, malgré la présence de l'oxygène et la production de l'acide carbonique, parce que le métal traverse la zone devant les tuyères avec une rapidité qui lui permet de se fondre sans être modifié sensiblement par l'action oxydante. Le passage de l'état solide à l'état liquide a lieu, en effet, dans un temps très-court, tandis que les réactions chimiques exigent toujours un temps assez long. Les gangues enlevées, on n'a plus à craindre leur présence et les réactions complexes qu'elles pourraient produire dans les opérations ultérieures.

Lorsque la température est assez élevée, on obtient un départ complet et on peut fondre les gangues sans avoir recours à la fusibilité de l'oxyde de fer, et, par suite, sans déchet sensible en fer.

Au moyen du haut fourneau, acceptant l'action du carbone avec toute sa force comme agent chimique, et tirant parti de toute sa puissance comme agent calorifique, on se débarrasse de l'oxygène minéralisateur, on arrive à un produit franchement métallique déjà susceptible d'applications utiles (la fonte), et l'on profite de la haute température d'une zone restreinte pour faire disparaître les gangues. L'opération se résume donc par l'arrivée à l'état métallique et l'expulsion des gangues qui est devenue possible malgré leur abondance et leurs affinités chimiques en présence du fer, parce que ce métal se trouve protégé contre l'entraînement à l'état d'oxyde par le fait de sa combinaison avec le carbone: tout repose donc sur la carburation qui permet en dernier

lieu la séparation à l'état liquide par le fait des densités.

Le convertisseur Bessemer, comme appareil métallurgique, représente le retour à l'action de l'oxygène à laquelle il faut faire appel pour se débarrasser du carbone en excès que le haut fourneau a forcé d'accepter dans la fonte ; il appartient donc, par sa nature, à la série des appareils oxydants inverses et complémentaires du haut fourneau parmi lesquels il doit être signalé comme celui qui repose sur le principe le plus simple. Il fournit le retour au métal moins carburé par une opération qui s'effectue d'une manière remarquable sans combustible. On n'a plus à craindre, avec cet appareil, les actions opposées et les pertes de forces par le fait des agents calorifiques distincts des réactifs. L'oxygène intervient seul comme agent chimique, et la chaleur nécessaire à la continuation de la réaction est fournie par cette réaction elle-même. Toute l'opération repose donc sur l'oxydation obtenue dans les conditions les plus nettes. Le convertisseur se contente de la chaleur qui reste à la fonte à sa sortie du haut fourneau ; et, comme solution heureuse et économique, il dispense, en donnant un produit directement fondu, d'une opération des plus dispendieuses, la fusion au creuset, et, en donnant son produit par masses, d'une opération qui exige de grandes consommations de forces, le soudage des trousses ou paquets. Ses produits peuvent à la coulée recevoir une première forme qui simplifie le travail de la forge ; ils sont toujours, par suite de la séparation effectuée à l'état liquide, exempts des laitiers et scories dont l'expulsion par moyens mécaniques nécessite beaucoup de travail et entraîne de grands déchets.

Enfin, dans le convertisseur lui-même, on peut opérer, soit en limitant l'action de l'oxygène, en arrêtant la quantité de vent injecté lorsqu'on a obtenu un affinage incomplet, mais suffisant pour l'étirage dans certains cas ; soit en laissant développer l'action oxydante en dépassant encore une fois le but pour arriver à un point fixe qui se présente quand

le fer commence à brûler; le départ se fait toujours par suite de la grande fluidité du produit métallique et du laitier qui permet de profiter de l'action des densités. Dans le dernier cas, le retour à l'action du carbone contre l'oxygène en excès, qui empêche le produit de s'étirer se fait par une simple addition de fonte liquide dont le poids peut être déterminé avec une précision suffisante pour donner le produit définitif qu'on se propose d'obtenir.

La rapidité et l'économie sont donc obtenues dans ce système métallurgique comme dans ceux qui reposent sur le même principe de division des actions chimiques en opérations distinctes, à la condition d'éviter la ligne droite; celle-ci paraissant d'ailleurs continuellement exposée à être détruite par les directions variables et contraires des forces engagées. On arrive au but en obéissant successivement à ces forces opposées et en les laissant se développer jusqu'à l'arrivée des points fixes, choisis de manière à ne pas s'éloigner, outre mesure, de la direction qu'on doit suivre.

Il reste à ajouter que l'appareil Bessemer agit sur des masses de même ordre que le haut fourneau, ce qui n'existe avec aucun des appareils d'affinage pour lesquels on est obligé de fractionner par doses très-petites, les masses provenant de hauts fourneaux; car ces derniers produisent par dizaines de tonnes, tandis que les foyers d'affinage prennent la fonte par centaines de kilos et la rendent en fer ou en acier par dizaines de kilos. Cette méthode, dans ses applications possibles, fait apparaître, entre les appareils métallurgiques, la proportionnalité qui en avait disparu depuis l'adoption du haut fourneau.

Cette méthode métallurgique, que je chercherai à faire juger plus complétement dans l'étude suivante, paraît réclamer une plus longue expérience, peut-être de nouveaux progrès; mais on ne peut se dispenser de constater qu'elle repose sur les principes les plus simples qui sont ordinairement les plus féconds.

Les publications technologiques faites en Angleterre contiennent ordinairement, à côté de l'exposé des faits pratiques, un certain nombre de considérations générales, dans lesquelles on trouve une tendance marquée à démontrer que les idées scientifiques, même dans leurs applications les plus compliquées, se montrent toujours d'accord avec les souveraines données du bon sens. J'ai cru devoir essayer de suivre la méthode adoptée de préférence, pour le genre de travail qui m'occupe, dans un pays où la métallurgie trouve si souvent des modèles à imiter.

ÉTUDE DES CONDITIONS DE L'ÉTIRAGE DES PRODUITS ACIÉREUX.

Rôle des gaz dans la fabrication et la constitution des aciers.

Une des questions les plus intéressantes de la métallurgie est la détermination des conditions que doivent remplir les produits aciéreux et particulièrement ceux qui sont fondus pour être susceptibles d'étirage. En dehors de la fonte, les produits étirables ont seuls une valeur commerciale.

Je crois par suite utile d'attirer l'attention sur certains phénomènes qui se manifestent soit à la coulée, soit dans les élaborations des divers produits et agissent en favorisant ou détruisant l'étirage. Cette étude me paraît d'ailleurs apporter un élément nouveau et important pour l'établissement de la théorie de l'acier qui est encore si obscure.

Les phénomènes, que je vais exposer, sont connus dans tous les ateliers où la nécessité d'éviter les inconvénients qu'ils pourraient produire a depuis longtemps conduit à introduire dans la fabrication l'emploi de précautions considérées partout comme indispensables.

Présence des gaz dans les fers et les aciers fondus liquides.

Tous les aciers à la coulée dégagent des étincelles beaucoup plus nombreuses que celles que l'on remarque à la

coulée de la fonte ; leur abondance est considérée comme un indice caractéristique de l'acier. Ces étincelles résultent de la combustion dans l'air de petites gouttelettes métalliques projetées par le dégagement de bulles gazeuses qui éclatent le long du jet ou à son extrémité.

Toutes les fois que l'on verse de l'acier fondu dans une lingotière, la surface de l'acier demeure, jusqu'à la solidification, agitée par un dégagement de bulles de gaz toujours très-sensible ; mais, suivant que l'acier est dur ou doux, le phénomène se manifeste d'une manière différente.

L'acier dur laisse dégager des bulles qui soulèvent de petits jets de matière fondue, sous forme de gouttelettes assez sèches qui sont projetées de quelques centimètres et retombent en partie dans la lingotière ; puis la surface supérieure du lingot paraît se figer en devenant, après quelques secondes, de plus en plus concave vers le centre : la croûte ne tarde pas à se percer en s'enfonçant ; on dit alors, en langage d'atelier, que le lingot perce. Le phénomène qui se produit est en effet le même que celui qu'on observerait si, les parois du lingot étant seules figées, la lingotière perdait par le bas.

L'acier doux dégage à la coulée des bulles qui paraissent plus abondantes. Versé dans les lingotières, il y remonte sous le jet avec un bouillonnement analogue à celui du lait en ébullition, et cela d'une manière d'autant plus marquée qu'il est plus doux. Quand, la lingotière remplie, le refroidissement commence à se produire, le gaz, au lieu de se dégager sèchement comme pour les aciers durs, entraîne avec lui le métal fondu bouillonnant : on dit alors que le lingot remonte ; et, en effet, si l'on ne s'oppose au mouvement, une partie du métal se déverse en remontant par-dessus les parois de la lingotière. Il est souvent assez difficile de combattre cette force ascensionnelle : on y parvient cependant ordinairement en exerçant une compression à la surface du lingot, en le couvrant avec un corps froid conducteur et pesant.

Le fer fondu remonte de la même manière.

Le fer brûlé liquide, produit final de l'appareil Bessemer, tel qu'on l'obtient avant l'addition, remonte avec une force telle que, dans la plupart des cas, il est très-difficile de le retenir dans les moules; souvent il n'y laisse que des manchons creux dont la partie centrale s'est vidée par une sorte d'éruption.

Tous les aciers et fers fondus, manipulés dans les ateliers, donnent lieu à des phénomènes analogues à ceux qui viennent d'être cités en se rapprochant, suivant leur nature et leur dureté, des cas extrêmes que j'ai dû me borner à considérer.

La compression ne permet pas d'empêcher les lingots durs de percer ; la partie percée, surtout le trou central, ne se ressoude jamais complétement au martelage. Il en résulte la nécessité d'affranchir, après l'étirage, les barres qui présentent par suite à leur extrémité une paille centrale. On doit observer que le trou s'est produit dans le lingot au rouge en offrant un contact évident de l'acier au rouge avec l'air extérieur.

Pour les aciers de dureté moyenne, ce qui est le cas des aciers ordinaires, on évite le remontage avec succès par le bouchage des lingots. Si l'on n'employait pas cette précaution, la partie supérieure remontée serait remplie de bulles, deviendrait très-difficile à souder avec elle-même, et souvent criquerait et tomberait au marteau; parfois même on aurait une cassure entre la partie remontée et le fond plus solide du lingot.

Les fers fondus, malgré le bouchage, présentent toujours des criques à l'étirage; les fers brûlés qui ne peuvent, par ce moyen, être maintenus que difficilement dans les moules, ne sont d'ailleurs jamais étirables.

Le bouchage s'effectue au moyen de bouchons en fer ou en acier dont la partie pleine offre une section un peu plus petite que la section intérieure de la lingotière dans laquelle

ils entrent ainsi très-facilement; la tête des bouchons présente une certaine masse destinée à agir par son poids; cette masse a aussi pour effet d'éviter un échauffement trop rapide; elle est prolongée par une queue qui permet de poser et enlever les bouchons.

Voici comment on opère : aussitôt que le moule est rempli, on profite de quelques secondes de calme qui suivent la coulée, on pose le bouchon sur la surface de l'acier et l'on remplit l'anneau laissé libre entre le bouchon et les parois de la lingotière avec du sable siliceux.

Comme je l'ai dit, plus l'acier est doux, plus le bouchage est difficile. Lorsque le métal fondu se trouve dans ces conditions, il repasse parfois, en rochant comme l'argent, entre le bouchon et la lingotière. On l'arrête alors comme on peut, en augmentant la charge, en remettant du sable, et en appuyant avec un corps froid sur le point où se produit le rochage.

Explication des faits qui précèdent.

Je désire rester ici dans la discussion des faits métallurgiques en usant des seules données de l'observation telle qu'elle peut être faite dans les ateliers.

Les propriétés particulières des aciers durs et des aciers doux suffisent pour expliquer les différences que je viens de constater dans les phénomènes qui se manifestent à la coulée, sous l'action d'une cause unique : la présence des gaz en dissolution dans le métal fondu.

Les aciers durs se rapprochent d'autant plus de la fonte qu'ils sont plus durs; ils ont comme elle un point de solidification, relativement assez bas, et passent assez brusquement de l'état de liquide à l'état solide avec tendance à prendre un état cristallin plus ou moins prononcé. On comprend par suite comment, restant assez longtemps

liquides, ils perdent, pendant la durée de leur refroidissement dans l'air, la plus grande partie du gaz dissous en excès à une température plus élevée, alors que la partie centrale du lingot, qui se refroidit la dernière, est encore liquide. Le gaz, en se dégageant, détermine des soufflures au moment de son départ, et ces espaces creux sont remplis successivement de proche en proche par l'acier du centre demeuré liquide. De là la percée de la partie centrale du lingot.

L'état cristallin plus ou moins imparfait que présentent certains aciers durs, doit être considéré comme donnant lieu à un retrait; mais on remarquera qu'il s'agit ici d'expliquer d'abord un dégagement de gaz très-notable, et la formation d'un vide trop important pour que la percée puisse être attribuée principalement au seul retrait dû à l'action physique de la cristallisation. Il y a donc tout au plus de ce côté coïncidence de phénomènes concourant au même résultat. Mais il y a lieu d'observer encore qu'une partie des gaz dissous peut être fixée à l'état de combinaison chimique par le fait de la cristallisation qui dans ce cas interviendrait alors comme cause plus dominante si elle donne lieu à une action chimique.

Les aciers doux se rapprochent du fer par leur nature et leurs propriétés ; ils se solidifient à une température relativement élevée et montrent une tendance à passer par l'état pâteux dans le refroidissement. Les bulles de gaz très-abondantes qu'ils dégagent dès leur entrée dans le moule trouvent donc déjà le métal demi-pâteux et l'entraînent dans leur dégagement, comme cela a lieu dans l'ébullition d'un liquide visqueux : de là les bouillonnements qui se produisent d'abord sous le jet. Une fois le moule rempli, les solidifications partielles suivent de près le dégagement des bulles, et ne permettent pas facilement le retour des parties métalliques encore liquides dans les régions caverneuses qui commencent à se solidifier, malgré les vides qu'elles peuvent

offrir. Le dégagement porte donc toujours en avant les parties demeurées liquides; de là la tendance à remonter et à sortir du moule, et la production du mouvement surtout dans la partie centrale du lingot.

Le fer doux fondu dans les creusets de fonderie remonte avec plus de force que les aciers doux : l'explication donnée pour ces derniers suffit pour rendre compte de ce fait. Toutefois il y a lieu d'insister sur les difficultés plus grandes que présente le ressoudage des parties remontées. On obtient toujours ainsi des criques à l'étirage des lingots obtenus, même par la fusion du très-bon fer. On doit y voir le principal obstacle pratique qui s'oppose à l'emploi industriel du fer fondu, lorsqu'il est fondu sans addition de carbone au moyen des procédés employés pour fondre l'acier.

Le produit final de l'élaboration de la fonte dans l'appareil Bessemer se présente, comme je l'ai dit, avec les apparences d'un fer très-doux, ou mieux d'un fer brûlé : il remonte dans les moules avec violence, et il importe de noter ici que le ressoudage des cavités produites par le départ du gaz est demeuré jusqu'à présent complétement impossible. Malgré la grande résistance que possèdent les parties de ce fer solidifiées le long des parois des lingotières, l'impossibilité de les étirer si l'on n'a pas fait l'addition de fonte a empêché jusqu'à présent ce produit de recevoir aucune application industrielle.

Le fait de l'existence de gaz en dissolution dans tous les aciers à l'état liquide et quelle que soit leur dureté, dans le fer et dans les fers brûlés également à l'état liquide, est donc établi, et mis en évidence par l'exposé des faits qui précèdent.

Les gaz tenus en dissolution dans ces produits à l'état liquide peuvent être fixés en partie dans certains cas, par le fait de la cristallisation; mais ceux qui ne sont pas retenus s'échappent par le fait de l'abaissement de température notamment vers la solidification, et leur dégagement con-

stitue une des difficultés contre lesquelles on a à lutter dans la pratique des fonderies.

Les cavités laissées par les gaz dans l'intérieur des lingots sont d'autant plus difficiles à ressouder et constituent un obstacle d'autant plus grand à l'étirage que ces gaz sortent d'acier plus doux, de fer ou de fers brûlés. Plus l'on s'éloigne du métal visiblement carburé, plus la difficulté est grande, plus la soudabilité est attaquée dans les cavités. Je dois ajouter aussi que plus les parties remontées ou percées ont eu un contact possible avec l'air atmosphérique, plus le ressoudage est également devenu difficile; il est tout à fait impossible, si ce contact a eu lieu à la température du rouge.

Examen de la nature des gaz.

Dans la plupart des cas, lorsqu'on manipule des aciers, dès que les lingots ont été coulés et les lingotières bouchées, on voit apparaître, soit par les fentes de la lingotière, soit par les parties mal jointes du fond et de la surface, des jets de gaz qui brûlent avec la flamme bleue caractéristique de l'oxyde de carbone.

Il y a un premier indice positif qui porte à penser que les gaz dégagés par l'acier se composent en majeure partie d'oxyde de carbone; toutefois il est bon d'isoler ce caractère de toutes les causes secondaires qui peuvent paraître le rendre incertain par suite des conditions dans lesquelles on opère dans les ateliers.

Les lingotières en fonte que l'on emploie ordinairement pour recevoir l'acier fondu sont fumées ou simplement graissées intérieurement avec de l'huile. On obtient le fumage en plaçant les lingotières au-dessus de la résine en combustion, et en les y laissant jusqu'à ce que leur intérieur soit enduit d'une couche de noir de fumée. Le but que l'on se propose, par l'emploi de cette précaution, est d'éviter l'adhérence entre l'acier et les parois du moule en fonte.

Mais il n'y a pas lieu de considérer la présence du corps gras ou du noir de fumée comme cause unique et même principale du dégagement des gaz à l'état d'oxyde de carbone, rendu reconnaissable par sa flamme caractéristique; car le dégagement des gaz produit les mêmes phénomènes de flamme et lorsque l'on coule en sable, et lorsque l'on coule sur sable à découvert, alors que l'on est assuré qu'il n'existe pas au contact du métal de matières charbonneuses pouvant donner lieu à une production notable d'oxyde de carbone en présence d'un jet de gaz plus oxydé.

Je rappelle encore que, dès que l'on transvase un liquide, il y a toujours formation d'une veine liquide qui peut entraîner en certaine quantité les gaz remplissant le milieu dans lequel on opère. Toutefois, si l'entraînement est assez sensible quand il s'agit de l'eau, on ne peut admettre qu'il puisse être à beaucoup près aussi marqué pour les liquides tels que le fer ou l'acier fondu. Les phénomènes de dégagement que j'ai signalés se reproduisent toujours malgré des différences de hauteur de coulée et les conditions essentielles de vitesse et de grosseur du jet qui pourraient influer sur la masse du gaz entraîné. En constatant que l'entraînement est insuffisant pour rendre compte de la quantité des gaz qui sont dégagés, il y a lieu d'établir toutefois qu'il ne doit pas être absolument nul et que les éléments de l'air atmosphérique sont exposés à se trouver entraînés par la veine et par suite à être introduits dans les masses fondues en petite quantité.

Les silicates de fer, surtout les silicates basiques, possèdent la propriété de contenir des gaz et celle de les dégager en partie au moment de leur solidification, qui est celui de leur formation définitive à l'état chimique auquel nous les retrouvons. Il paraît possible qu'une portion des silicates, très-petite à la vérité, soit entraînée dans la masse métallique : cette quantité est trop minime pour expliquer les phénomènes du dégagement que j'étudie. Cela est d'ailleurs

facile à démontrer : car il suffit de rappeler ce qu'on observe dans le cas où, avant de couler l'acier dans les lingotières, on reçoit momentanément la masse d'acier dans une grande poche servant de réservoir pour la distribution. La différence de densité fait rapidement surnager dans la poche les silicates sur le métal fondu ; et lorsqu'on coule en quenouille, par le fond, sous une assez forte charge d'acier, on ne peut admettre que les silicates puissent être entraînés en abondance par le trou de coulée, vu la distance à laquelle ils sont maintenus à la surface. Cependant, même dans ces conditions, on retrouve le long du jet et dans les moules la série des phénomènes que je viens de faire connaître et qui se reproduit sensiblement avec autant d'intensité que si l'on coulait directement du creuset. Les gaz ne proviennent donc pas des silicates. On sait d'ailleurs qu'en général ces derniers dégagent de l'oxygène, et que partout où ils pénètrent dans le métal leur présence se révèle par un défaut ou une cendrure.

L'entraînement par le jet et la présence des silicates ne pouvant être considérés comme cause de l'existence des gaz dans les masses fondues, je vais examiner la nature des gaz d'après leur origine,

Dans les creusets où l'on se contente de fondre de l'acier déjà formé, sans chercher par aucune addition à produire une réaction dans sa composition, les seuls gaz qui peuvent exister sont ceux qui, pénétrant par l'ouverture du creuset, peuvent être absorbés ; ceux que l'acier peut fournir lui-même par le fait de son passage de l'état froid à l'état fondu, et par sa conservation de l'état fondu pendant un certain temps ; et enfin ceux qui résulteraient des actions produites par les uns sur les autres.

Les gaz qui pénètrent dans le creuset viennent de la partie supérieure du foyer de fonderie dans lequel le tirage est assez fort et dont la grille est toujours chargée d'une couche assez épaisse de coke en ignition. Les creusets

sont fermés par un couvercle; mais ils sont souvent ouverts pour le travail du fondeur. Les gaz qui s'offrent alors sont les éléments de l'air atmosphérique saturés de carbone d'une manière plus ou moins complète de l'azote, de l'oxyde de carbone, de l'acide carbonique et par moments l'air atmosphérique. Ils peuvent être absorbés pendant la fusion et se dissoudre dans les proportions relatives où ils se sont présentés, si les pouvoirs dissolvants du fer et de l'acier sont les mêmes pour chacun d'eux.

Les aciers en outre dégagent eux-mêmes des gaz parce qu'ils subissent des modifications dans leur constitution par le fait de la fusion. Tous les aciers sans exception s'adoucissent par la fusion lorsqu'elle est faite sans addition de matières fournissant du carbone. L'acier en s'adoucissant perd du carbone, et il ne peut le dégager qu'à l'état d'oxyde de carbone; car les phénomènes qui se produisent au traitement Bessemer montrent que, même sous l'action d'un courant d'air très-puissant donnant presque le maximum d'action oxydante, le carbone, quand il est attaqué dans la masse en partie affinée à l'état d'acier, est encore brûlé à l'état d'oxyde de carbone.

Enfin la réaction des gaz d'origine différente ne peut avoir d'autre effet, en présence de la diminution de dureté des aciers, que celui de faire prédominer le carbone dans la composition des gaz d'origine atmosphérique; mais on ignore, par suite des rentrées d'air, quel est leur état de carburation initiale.

Cet examen ne permet donc pas d'affirmer quelle est la nature exacte des gaz; il montre seulement que ceux qui proviennent du foyer ne sont pas certainement saturés complétement de carbone lorsqu'ils arrivent au contact de l'acier; ce fait apporte cependant un élément à la discussion.

Il n'y a pas lieu de penser au soufre ni aux autres corps étrangers pour expliquer des phénomènes qui se produisent toujours même quand l'absence de ces corps est certaine.

Nouvelles données sur la nature des gaz fournies par l'étude des moyens employés pour éviter leurs actions nuisibles.

A ce premier aperçu, je vais joindre les renseignements fournis par l'étude des moyens employés dans la pratique pour faire disparaître les actions produites par les gaz lorsqu'elles sont exposées à donner des difficultés à l'étirage. Les nouveaux faits conduiront à préciser davantage la nature des gaz dissous et permettront d'apprécier la valeur des indications qui précèdent.

Ces moyens employés sont de deux sortes : les uns presque mécaniques, comme la manière de couler et le bouchage tel que je l'ai fait connaître; les autres sont d'ordre chimique et se traduisent toujours par intervention de substances donnant du carbone et produisant des réactions dans lesquelles la force reste à la production d'oxyde de carbone et quelquefois de carbone en excès.

L'action nuisible des gaz semble diminuer légèrement sans que pour cela la quantité dégagée se montre sensiblement moins importante lorsqu'on coule l'acier plus lentement, c'est-à-dire lorsqu'on réduit la quantité de gaz atmosphériques entraînée dans la masse par l'action de la veine liquide, ou que l'on facilite le dégagement du gaz entraîné en lui laissant le temps de s'échapper pendant la coulée, sans provoquer une sorte de brassage du gaz et du métal.

Le bouchage au premier abord, tel qu'il est employé avec succès dans le cas où l'on coule de véritables aciers, agit mécaniquement par le poids du bouchon qui oblige les gaz soit à rester dans la masse, soit à s'échapper sans pouvoir laisser à l'état de cavernes les vides qu'ils tendent à former en se dégageant. Il a aussi pour effet d'éviter la rentrée de l'air atmosphérique. L'emploi du sable siliceux dont on remplit l'intervalle du bouchon et de la lingotière empêche la communication avec l'air extérieur, parce que le sable

agit par son imperméabilité, ou dans certains cas aussi en formant à la surface une petite couche de vernis.

Les conditions dans lesquelles le bouchage est utile et celles dans lesquelles il devient insuffisant font voir comment la composition des gaz influe sur la nature des effets produits.

Lorsqu'il s'agit d'acier, les mauvais effets de la présence des gaz disparaissent sans réaction chimique par le simple fait du bouchage; les gaz qui existent dans l'acier étirable n'ont donc pas par leur nature même, c'est-à-dire par leur composition chimique, une propriété nuisible, leur masse seule dans les conditions où on lui laisse produire des soufflures trop considérables devient dangereuse; cela conduit à penser que l'acier contient des gaz saturés de carbone comme l'oxyde de carbone qui, par lui-même, n'a pas d'action fâcheuse et qui, de plus, par son expansion s'oppose à la rentrée de l'oxygène.

Lorsqu'on coule du fer fondu sans addition de matière pouvant donner du carbone, le bouchage ne suffit plus pour rendre l'étirage possible sans criques; c'est que les gaz que le fer liquide contient en dissolution et qui proviennent du foyer, sinon des élaborations antérieures, sont nuisibles par leur nature même. Ces gaz, en effet, ne sont plus forcément saturés de carbone; ils peuvent être de l'acide carbonique et de l'oxygène, tous deux susceptibles de brûler par une action oxydante les parois internes des cavités. En sorte que le fer étirable avant la fusion perd en partie cette propriété par le seul fait de l'action des gaz oxydants surtout dans les géodes, qui deviennent des criques à l'étirage.

Enfin, pour le fer brûlé Bessemer, le bouchage est tout à fait incapable de rendre la masse étirable, parce que le produit dont il s'agit est en ce moment de l'opération en voie d'oxydation franche et contient de l'acide carbonique et de l'oxygène en excès, qui non-seulement rendent les géodes

insoudables, mais ont déjà modifié les propriétés de la masse ferreuse elle-même.

Ce n'est donc pas par leur présence et leurs actions physiques, dont on peut combattre dans certains cas les conséquences avec succès, mais bien par leur nature et leurs actions chimiques que les gaz s'opposent à l'étirage; et les effets sont d'autant plus fâcheux que ces gaz sont plus oxydants, et que le métal est moins protégé contre l'action de l'oxygène par la présence du carbone.

Réactions chimiques.

Toutes les fois que l'on refond l'acier, même pour lui conserver après la fusion son degré de dureté, il est indispensable d'ajouter dans les creusets une matière pouvant donner du carbone; l'expérience a conduit non-seulement à ajouter ce carbone, mais à le mélanger toujours de substances qui puissent lui permettre de se transformer rapidement à l'état d'oxyde de carbone. A cet effet on emploie dans la pratique des mélanges de charbon pulvérisé et de peroxyde de manganèse, en proportion donnant toujours du carbone en excès, de manière que l'oxyde de carbone soit le seul produit gazeux possible. Par ce moyen on préserve l'acier dans le creuset contre la rentrée des gaz du foyer, on évite la perte en carbone qui se produit pendant la fusion, lorsque l'oxyde de carbone dégagé par l'acier s'use en se transformant au contact des gaz plus oxydés du foyer; et enfin, au moment de la coulée, le dégagement du gaz en excès protége encore l'acier contre les rentrées de l'air. Il n'y a donc pas d'acier sans étincelles à la coulée et sans dégagement de gaz; car il n'y a point d'acier liquide sans la présence constante du gaz oxyde du carbone en dissolution dans la masse. Le mode d'observation ne permet pas d'affirmer d'ailleurs si ce gaz est plus ou moins mélangé d'azote.

Pour la fusion du fer doux, si l'on ne fait point d'addition

de matière charbonneuse, on n'obtient point d'étirage acceptable ; mais il suffit d'ajouter une petite quantité de charbon et de manganèse pour obtenir des produits fondus étirables auxquels on donne le nom de métal homogène et qui ne sont pas encore des aciers, parce qu'ils n'en possèdent les qualités que d'une manière incomplète. On voit que les conditions à remplir pour obtenir ce produit étirable sont d'introduire trop peu de carbone pour carburer sensiblement le fer, tout en en mettant assez pour avoir le gaz oxyde de carbone en quantité suffisante pour que son action protectrice soit assurée. Il est difficile de doser le carbone d'une manière exacte, en présence des circonstances variables dans lesquelles il deviendra nécessaire ; et de manière que tout le carbone introduit disparaisse dans les manipulations par le fait des actions oxydantes qu'elles favoriseront. Afin d'assurer l'étirage, on dose donc toujours le carbone en plus, et la pratique se trouve ainsi rejetée dans les aciers doux par le soin qu'elle prend d'éviter les produits ferreux dont l'étirage serait dans les conditions ordinaires trop incertain.

Si au fer brûlé, provenant du traitement direct suffisamment prolongé dans l'appareil Bessemer, on ajoute de la fonte en proportion convenable, on obtient dans le traitement des fontes aciéreuses et par ce simple mélange un acier fondu analogue à l'acier fondu ordinaire, et dont les dégagements de gaz rentrent dans les conditions où le bouchage suffit pour permettre à l'étirage de s'effectuer.

Comme les gaz continuent de se montrer à la coulée de ce métal, l'addition a donc servi plutôt à modifier leur nature qu'à les faire disparaître.

Au moment où l'on verse l'addition de fonte cristalline, il se produit une réaction que j'ai fait connaître et qui est d'autant plus vive que l'action de l'air sur la fonte a été plus prolongée dans le convertisseur. D'après ce que j'ai dit de la période où l'opération est arrêtée, l'air arrive

alors en excès; il n'est plus converti en oxyde de carbone, et le fer émulsionné par l'oxygène commence à passer rapidement à l'état d'oxyde.

On a donc dans le convertisseur du fer plus ou moins brûlé, contenant en très-petite quantité les corps étrangers qui ont pu échapper à l'affinage; et ce fer, dans un état particulier, retient en dissolution des gaz très-abondants et oxydants qui peuvent être, outre l'oxygène, de l'azote, de l'acide carbonique, des traces d'oxyde de carbone, ce dernier seulement dans le cas où il y aurait eu des actions partielles, car la masse est entrée franchement en oxydation.

L'addition de fonte cristalline faite en proportion de 7 à 10 pour 100 de la masse du métal contenu dans le convertisseur, apporte du fer, du carbone, du silicium, du manganèse et une petite quantité de métaux terreux réduits. Je vais examiner en détail l'action des principaux corps.

Par suite de l'incertitude que présente encore le dosage du carbone dans les fontes, je n'entreprendrai pas de calculer la quantité de carbone ajoutée, encore moins d'en tirer la mesure du gaz oxygène libre ou combiné, ce qui laisserait un problème trop indéterminé, car d'autres corps agissent comme le carbone. Le résultat suffit d'ailleurs pour donner une conclusion positive.

Le fer ne fait qu'augmenter la masse de celui qui existe déjà.

Le carbone ne paraît pas avoir d'action sur l'azote, mais introduit dans un état de combinaison facile à détruire qui favorise les actions chimiques, il agit sur l'oxygène à l'état libre et le convertit en oxyde de carbone; il réagit de la même manière sur l'acide carbonique; c'est l'action inverse et réciproque de celle que j'ai constatée dans le convertisseur et qui est d'ailleurs bien connue en chimie. Si l'oxygène et l'acide carbonique existent déjà formés à l'état gazeux dans la masse, l'addition de carbone ne fait que

changer la nature de ces gaz sans agir sur leur volume : il ne peut y avoir augmentation de volume des gaz produits dans ces conditions que par formation directe d'un gaz carboné à la suite d'une réaction du carbone sur l'oxygène déjà combiné avec le fer. Cette observation montre comment sont déterminés les crachements avec projections lorsqu'ils ont lieu au moment du mélange ; elle explique pourquoi ces accidents sont d'autant plus marqués que l'action de l'air a été plus prolongée et le fer plus brûlé ; elle rend compte ainsi très-simplement des phénomènes que j'ai fait connaître dans la description de cette partie de l'opération Bessemer.

Le manganèse, très-abondant dans les fontes cristallines, ne se retrouve pas toujours dans les aciers obtenus ; les réactions auxquelles il concourt ont donc très-souvent pour effet de produire en grande partie son élimination, les propriétés bien connues de ce métal lui permettent de se scorifier, de s'oxyder pour entrer en combinaison avec la silice, en faisant disparaître l'oxygène libre, s'il existe, en faisant passer l'acide carbonique à l'état d'oxyde de carbone, et peut-être même en décomposant ce gaz pour s'emparer de son oxygène en fournissant finalement du carbone disponible.

Le silicium, par une réaction chimique différente, conduit au même résultat ; il passe à l'état de silicate de fer ou de manganèse, enlevant l'oxygène où il le trouve pour donner aussi finalement de l'oxyde de carbone et peut-être du carbone en présence de gaz contenant du carbone. Dans le cas, où le silicium est réellement apporté à l'état réduit, j'adopte sans objection l'opinion des chimistes anglais qui le considèrent comme un des plus puissants calmants de l'acier et qui vont même jusqu'à mesurer la quantité exacte d'acier qu'il peut calmer, en l'évaluant à 2.000 fois son poids. On conçoit en effet que le silicium introduit en quantité suffisante, dans un métal fondu ne contenant pas de corps qui s'opposent à ses réactions, puisse détruire tous

les gaz, tels que l'oxygène, l'acide carbonique et peut-être même l'oxyde de carbone, en ne laissant dans la masse que des silicates liquides et du carbone susceptible d'entrer en combinaison avec le fer.

Avec l'addition finale de fonte cristalline, rien n'est donc plus simple que la théorie chimique de la formation de l'acier, du métal et même du fer fondu Bessemer au moyen du fer plus ou moins brûlé que fournit le convertisseur. Dans la réaction de la fonte sur ce fer brûlé chargé de gaz oxydants, tous les corps ajoutés autres que le fer donnent lieu à des actions concordantes qui conduisent au même résultat : la transformation de tous les gaz oxydants en gaz saturés de carbone (oxyde de carbone) ; car le fer qui ne peut à cette température exister sans s'oxyder en présence de ces gaz, ne peut *à fortiori* se carburer qu'après qu'ils sont saturés de carbone. Les métaux terreux réduits dont je n'ai pas parlé, pour éviter les répétitions, donnent également lieu à des réactions désoxydantes qui favorisent la production du carbone assimilable.

S'il peut rester quelque doute sur la nature des gaz et sur leurs proportions relatives avant l'addition, il n'y en a aucun sur leur nature après la transformation qu'elle détermine. Ces gaz sont arrivés au maximum de carburation ; ils sont convertis en oxyde de carbone. Cela est si vrai que, si l'on dépasse les proportions reconnues nécessaires pour donner une certaine dureté, on arrive rapidement à une dureté beaucoup plus grande par augmentation de carbone disponible, on dépasse bientôt l'état d'acier étirable.

Ce fer brûlé inétirable dans lequel l'oxygène dominait, dans lequel l'acide carbonique pouvait exister, continue, après l'addition, de produire des gaz à la coulée ; mais alors il s'étire avec la plus grande facilité, et en même temps on est assuré que ceux de ces gaz qui étaient oxydés ne peuvent plus être que de l'oxyde de carbone. La compression suffisant alors pour que leurs actions ne soient plus nui-

sibles, on est donc conduit encore une fois aux conclusions que j'ai déjà énoncées soit à la suite de preuves directes, soit par induction ; et l'on est obligé de reconnaître que les gaz dont la présence dans les produits liquides s'oppose réellement à l'étirage du fer pur ou carburé et rend le bouchage insuffisant ne sont pas l'oxyde de carbone plus ou moins mélangé d'azote de la métallurgie.

Rapprochant cette nouvelle conclusion de celles auxquelles je suis arrivé par l'étude de faits différents, on peut donc affirmer que si les aciers ordinaires s'étirent malgré la présence des gaz, c'est parce que ces gaz sont formés d'oxyde de carbone plus ou moins mélangé d'azote, qui non-seulement n'a point d'action nuisible, mais s'oppose par sa présence et son dégagement à la rentrée de l'oxygène de l'air. Si le fer doux fondu s'étire difficilement, c'est qu'il ne peut être étiré qu'à la condition d'être protégé contre l'oxygène de l'air et contre la rentrée de l'acide carbonique ou de l'oxygène dans les foyers ; c'est-à-dire qu'à la condition de contenir de l'oxyde de carbone en excès et d'être exposé à rentrer ainsi dans la catégorie des aciers. Lorsqu'enfin le fer fondu ne s'étire pas, c'est parce qu'il est réellement brûlé et a perdu cette propriété par une combinaison avec l'oxygène, ou parce qu'il contient déjà des gaz qui, comme l'acide carbonique et l'oxygène, ont produit dans l'intérieur des géodes, au moment de la solidification, des pellicules de battitures dont la propriété spéciale est l'insoudabilité avec elles-mêmes et avec le fer.

On doit aussi conclure que l'acier liquide, par une propriété qui lui est propre, contient toujours des gaz en dissolution et se trouve par suite formé de fer plus ou moins carburé et de gaz dissous. Quand il est étirable après refroidissement, ces gaz sont de l'oxyde de carbone plus ou moins mélangé d'azote.

Le fer liquide est formé de fer plus ou moins pur et de gaz : il peut s'étirer lorque ces gaz sont saturés de carbone ;

L'appareil fixe se prête difficilement à l'emploi de l'addition : car, pour opérer convenablement, il faut introduire cette addition dès que l'on a atteint le degré d'affinage que l'on a reconnu le plus propre à donner le produit que l'on recherche. La dureté du produit ne peut résulter que de deux éléments : l'état d'affinage du métal contenu dans le convertisseur au moment de l'addition et le poids de la fonte ajoutée. Le poids de cette fonte est nécessairement déterminé d'avance, il faut donc que l'addition soit introduite avec beaucoup de précision; car à la fin de l'opération, le métal en élaboration est soumis à une action oxydante extrêmement rapide. La difficulté de disposer de la fonte d'addition au moment opportun, qui ne peut être exactement prévu, peut, dans certains cas devenir assez grande. L'appareil fixe exige en outre que l'on coule en donnant le vent; on introduit par suite des gaz oxydants pendant la coulée, alors que leur présence est la plus dangereuse pour l'étirage.

L'action remarquable des gaz carburants dissous sur l'étirage des produits fondus, conduit à penser qu'il serait peut-être possible de réaliser un progrès dans le traitement Bessemer si, une fois l'affinage obtenu, on faisait succéder à l'insufflation de l'air une insufflation d'oxyde de carbone ou au moins de gaz atmosphériques complétement saturés de carbone.

On pourrait employer l'appareil fixe et opérer de manière à tirer de l'affinage tout le parti possible, en poussant jusqu'au fer brûlé. On ferait alors arriver par les tuyères les éléments de l'air saturés de carbone; on reviendrait ainsi à la carburation jusqu'à ce que l'on ait atteint le degré de dureté désiré. Ces conditions semblent assez faciles à réaliser en renvoyant toute la complication à l'appareil soufflant et en faisant disparaître toute celle de l'appareil métallurgique d'élaboration.

Les produits ainsi recarburés auraient probablement l'avantage d'être très-homogènes; ils pourraient être obtenus

de duretés diverses à volonté, en y comprenant même des fers fondus parfaitement doux qu'il deviendrait peut-être possible d'obtenir ainsi régulièrement, d'après ce que j'ai dit des conditions du problème du fer fondu industriel. L'insufflation pendant la coulée, qui est une obligation de l'appareil fixe, deviendrait ainsi sans danger pour l'étirage. L'habileté de l'opérateur serait beaucoup moins indispensable; car l'appareil serait moins sensible : au lieu de trouver le métal à la fin de l'opération exposé à une action oxydante extrêmement vive on aurait à arrêter une action carburante progressive et assez lente; l'excès de gaz introduit pouvant faire dépasser la dureté recherchée, sans jamais compromettre la nature du produit d'une manière presque instantanée comme le fait l'oxygène. Je ne m'arrête pas plus longtemps à discuter cet aperçu que je donne pour montrer comment les phénomènes que j'ai étudiés peuvent conduire même dans la recherche de nouveaux produits.

Les rôles du manganèse sont nombreux en métallurgie; ce métal possède la propriété de se combiner à la silice avec avidité en formant des silicates très-fusibles si utiles pour l'expulsion des scories; de plus il fournit de l'oxyde de carbone, par un mélange de peroxyde et de charbon, qui constitue l'addition obligée de presque toutes les fusions d'acier au creuset; enfin il favorise l'introduction du carbone dans la fonte et dans les aciers en présentant à la carburation une base double toujours susceptible d'une combinaison plus chargée de l'élément non métallique qui est ici le carbone. C'est ainsi que les fontes qui contiennent le plus de carbone combiné sont en général les fontes manganésifères. Le manganèse favorise une véritable combinaison du carbone : certains minerais, comme ceux de l'île d'Elbe, qui traités seuls donnent des fontes grises, donnent des fontes blanches lamelleuses sans carbone graphite, lorsqu'on les passe au haut fourneau après les avoir mélangés avec du minerai de manganèse. Ce fait qui, dans plusieurs usines

sert de base à une fabrication industrielle régulière, est certainement un des plus remarquables parmi ceux qui se sont présentés en métallurgie dans ces derniers temps. Il prouve que si l'on a quelque chance d'améliorer la nature des produits retirés jusqu'à présent des minerais, c'est sur la composition du lit de fusion du haut fourneau qu'il faut opérer, comme j'ai déjà été conduit à l'indiquer par d'autres considérations.

Le manganèse est, en outre, considéré comme donnant du corps à l'acier : cette expression consacrée signifie qu'en présence du manganèse les criques, soufflures, taches, etc., manifestations sensibles d'une diminution de résistance ou d'une disparution de soudabilité provenant d'actions partielles de l'oxygène se produisent beaucoup moins. Le manganèse est employé dans la fabrication de l'acier, comme je viens de le dire, à l'état de mélange de peroxyde et de carbone, à moins que le peroxyde ne soit employé seul pour adoucir des aciers très-carburés; ce mélange, outre qu'il donne de l'oxyde de carbone, peut avoir pour résultat de produire du manganèse métallique qui se dissout dans le fer et l'acier et y favorise la combinaison du carbone. Mais de plus, une fois ce métal entré dans l'alliage, comme il n'a pas lui-même, lorsqu'il ne dépasse pas certaines quantités, de mauvaises propriétés, le fer ou l'acier fondu se trouvent protégés non-seulement par l'oxyde de carbone, mais encore par un métal très-oxydable, et toutes les fois que les manipulations ou le travail exposeraient l'acier liquide à une action oxydante locale, le manganèse peut se brûler en préservant l'acier; il donne donc du corps par un moyen indirect, en préservant des causes qui le détruisent; et, chaque fois qu'il est appelé à intervenir, il se scorifie et disparaît, ce qui confirme, ce que l'on sait, que le manganèse si souvent abondant dans les minerais ou ajouté dans les manipulations se retrouve dans les produits définitifs en faible quantité et parfois même ne paraît plus y exister.

Pénétration et présence des gaz dans les aciers chauffés et solides.

L'absorption du gaz oxyde de carbone par le fer et les résultats obtenus dans la cémentation constituent une série de faits bien connus : je ne pourrais, pour les rappeler en détail, que reproduire les explications données par M. Le Play, soit dans ses mémoires publiés, soit dans ses leçons à l'École des mines, car on est toujours ramené aux travaux de ce savant ingénieur dès que l'on doit reprendre les questions fondamentales relatives à l'acier.

La pénétration du fer pour l'oxyde de carbone est complète dans la cémentation ; elle exige, il est vrai, un certain temps pour produire tout son effet ; mais elle se manifeste par un changement dans la nature du fer cémenté qui se produit aussi bien dans les parties profondes des barres qu'à leur surface, si le temps est suffisant. Le grain du fer disparaît ; il est remplacé par un grain moins brillant dénotant un commencement d'état cristallin qui, si la cémentation est poussée assez loin, rappelle celui de la fonte blanche cristalline. Les ampoules et boursouflures qui se trouvent dans les barres et à leur surface prouvent que l'action chimique est accompagnée d'une action physique puissante. Si l'on n'admet pas la pénétration directe du gaz, il faut avoir recours au véhicule d'une chaîne de molécules solides transmettant de proche en proche sans interprétation possible l'action de l'oxyde de carbone agissant seulement à l'extérieur ; si, au contraire, on reconnaît la pénétration de ce gaz, on comprend avec la plus grande facilité le résultat qui se produit sur la masse ferreuse aussi bien au centre qu'à la surface, quoique sensiblement du dehors au dedans. Le transport du carbone a lieu en effet par l'oxyde de carbone à l'aide de combinaisons suivies de décompositions successives : le gaz étant, d'un côté, en communication avec

un réservoir de carbone dans la caisse; de l'autre, avec un corps susceptible d'absorber du carbone qui est le fer. Les ampoules et les boursouflures deviennent les témoins de l'action du gaz oxyde de carbone, et s'expliquent par les pressions locales et puissantes dont les gaz seuls sont susceptibles.

Dans tous les phénomènes de cet ordre, il ne faut pas oublier le rôle qui revient aux actions de masses. Ces actions, dont les types sont la réaction du fer sur la vapeur d'eau et celle de l'hydrogène sur l'oxyde de fer, montrent que, dans certains cas, un déplacement de la masse suffit, en présence des mêmes corps engagés, pour produire le renversement des actions chimiques.

Lorsque l'on chauffe une barre de fer ou d'acier dans un foyer métallurgique, il est à peu près impossible de la mettre complétement à l'abri du contact et de l'action des gaz qui remplissent le foyer; je vais examiner l'action produite lorsque les gaz sont carburants et lorsqu'ils sont oxydants avec mélange d'azote dans les deux cas.

Lorsque la barre chauffée dans le four est placée dans une région où l'oxyde de carbone domine, elle se cémente peu à peu; la cémentation est d'autant plus puissante que l'oxyde de carbone est plus abondant, qu'il agit d'une manière plus progressive et plus prolongée, et qu'en même temps la température va en croissant entre certaines limites.

Si au contraire on chauffe une barre de fer dans une région où l'oxygène ou l'acide carbonique sont en excès, et si la température est suffisamment élevée, le fer se détériore rapidement, d'abord par la surface, qui se couvre de plaques oxydées et feuilletées, puis il perd son grain et passe à l'état de fer brûlé. Le fer brûlé finit par être profondément modifié jusque dans les parties intimes de la barre; son grain est devenu d'un bleu métallique brillant; il donne une cassure à paillettes qui rappelle l'aspect du fer micacé : le caractère

de ce produit est l'insoudabilité avec lui-même ; il ne peut plus être étiré d'aucune manière.

L'acier chauffé dans les mêmes conditions oxydantes commence aussi à se détériorer par la surface, mais il ne tarde pas à être profondément détruit comme le fer : son grain se rapproche alors de celui du fer brûlé, souvent même il est encore plus brouillé. Dans les changements que subit l'acier, on peut distinguer la simple altération et la destruction complète des propriétés utiles. L'altération résulte d'un trouble causé par la pénétration des gaz oxydants et se manifeste par le changement de grain de certaines parties qui deviennent plus claires et offrent des facettes, alors que les autres conservent la couleur et le grain primitif de l'acier ; elle correspond aux actions vives produites rapidement à une température très-élevée. La destruction de l'acier peut résulter de la prolongation de ces conditions ; et, dans d'autres cas, elle se produit plus lentement à une température moins élevée, à la suite d'une sorte d'affinage en passant par le fer pour arriver au fer brûlé. Ces résultats sont, en outre, atteints d'autant plus tôt que l'acier est à grain plus ouvert, c'est-à-dire qu'il provient directement de la cémentation ou du puddlage et qu'il est moins resserré par le travail mécanique ou la fusion. L'acier fondu, dont le grain est toujours plus compacte, se défend mieux ou plus longtemps ; mais en continuant de le chauffer à une température élevée dans les gaz oxydants, il finit aussi par se brûler et devient incapable de supporter l'étirage. Il y a lieu d'observer, comme détail, à cet égard que les aciers s'affinent progressivement avec d'autant plus de facilité que leur grain est plus ouvert, en sorte que ceux dont le grain est peu serré ne peuvent supporter une chaude un peu vive sans s'adoucir très-sensiblement. Les aciers fondus sont moins sensibles à l'affinage ; mais si l'action oxydante arrive à se produire, ils sont alors troublés subitement ou détruits assez brusquement d'une manière complète.

Quant au mode d'action des gaz oxydants, il est analogue à celui des gaz carburants que j'ai rappelé pour la cémentation. Par suite de la pénétration des gaz dans la pièce chauffée, la décarburation de l'acier a lieu, après l'entrée des gaz oxydants, par l'intermédiaire d'un gaz contenant du carbone et de l'oxygène : les combinaisons et décompositions successives enlèvent le carbone à l'acier pour le transporter à la masse des gaz du foyer, jusqu'au moment où l'action oxydante se produit directement. Généralement, toute masse ferreuse, dès qu'elle est pénétrée par les gaz, devient si le temps intervient, exposée à subir par l'intermédiaire d'un gaz l'action de l'élément carbone ou oxygène qui domine dans la masse environnante.

Le fer ou l'acier brûlés sont pour les ouvriers un métal qui a été trop chauffé, et en cela ils ont raison.

Les foyers ou appareils métallurgiques qui servent à chauffer les produits offrent, toujours en contact de la pièce chauffée suivant les régions, les éléments de l'air atmosphérique complétement saturés de carbone quand il n'y a plus que l'oxyde de carbone et incomplétement saturés quand il y a de l'acide carbonique et de l'oxygène. Les régions sont d'autant plus chaudes que l'oxygène y domine plus en présence du combustible. Les points où l'on atteint et dépasse le blanc soudant sont véritablement ceux où l'oxygène en excès permet une combustion très-vive, où les points très-voisins de ces derniers, dans lesquels cette combustion vive ne laisse encore que de l'acide carbonique. On sait d'ailleurs que la transformation de l'acide carbonique en oxyde de carbone produit en s'opérant un abaissement de température. Les zones où l'oxyde de carbone domine sont toujours ainsi à une température inférieure à celle où les gaz sont oxydants : en sorte que dire d'un produit qu'il est trop chauffé ou qu'il est chauffé dans une zone rendue oxydante par l'oxygène ou l'acide carbonique, sont très-souvent des expressions équivalentes.

Les deux actions opposées de l'oxygène et de l'oxyde de carbone, qui pénètrent tous deux jusqu'aux parties intimes des pièces chauffées, doivent, dans certains cas, pouvoir être employées successivement, de manière à produire d'abord un résultat, puis, en se plaçant dans les conditions opposées, le résultat directement inverse; c'est en effet ce qui a lieu. Lorsque le fer ou l'acier ont été brûlés et qu'ils n'ont point encore perdu leur forme extérieure, par suite d'un commencement de fusibilité accompagné de la formation d'une croûte superficielle peu perméable, il suffit de les chauffer lentement et graduellement dans une zone à oxyde de carbone, pour les ramener à l'état primitif; en renouvelant cette opération, on peut même les éloigner de plus en plus de l'état de fer ou d'acier brûlé, et leur faire dépasser leur degré de carburation antérieur. Ces opérations se pratiquent journellement dans les ateliers; c'est surtout pendant la marche ascendante de la température que le carbone paraît s'introduire plus facilement. On atteint une carburation plus complète par une série de chaudes graduées que par une seule chaude prolongée, dans les mêmes conditions de température.

Toutefois, il importe d'ajouter que lorsqu'une pièce a été brûlée à une température déterminée, il est à peu près indispensable, pour lui faire reprendre son état primitif, de la ramener graduellement jusqu'à une température de même couleur que celle à laquelle la modification a été produite. Cela semblerait indiquer qu'il y a un degré, un mode de pénétration et d'action qui varie d'intensité avec la température et sert à expliquer pourquoi les imperfections laissées par les élaborations antérieures, particulièrement par la fusion, ne peuvent être détruites ou compensées par les effets des chaudes carburantes du four à réchauffer. L'acier fondu, produit avec de bonnes matières aciéreuses, dès qu'il est donné inétirable ne peut en effet être rendu franchement étirable par le réchauffage le plus habile; et, pour utiliser

les aciers manqués à la fusion, il faut avoir recours à une seconde fusion.

L'azote, dont je n'ai fait que mentionner la présence constante dans le gaz des foyers, existe toujours certainement à l'état de mélange soit avec de l'oxyde de carbone, soit avec les gaz oxydants; dans les deux actions si opposées de la cémentation et de la combustion, dans les foyers. Il devient par suite bien difficile d'affirmer quelle est celle des deux actions contraires qu'il favorise : on doit constater nécessairement que sa présence n'exclut ni l'une ni l'autre de ces actions; et l'on est conduit à reconnaître que son rôle, en présence des fers et des aciers, paraît encore dans les conditions que je viens d'examiner, analogue à celui qu'on lui retrouve si souvent en chimie, un rôle indifférent, par suite duquel il sert à atténuer dans tous les cas, plutôt qu'à augmenter dans un sens déterminé l'intensité des réactions auxquelles il assiste. Toutefois, comme il peut pénétrer dans les produits fondus et dans les barres chauffées, avec les gaz actifs, il est très-probable que si, lors du refroidissement, ces gaz sont dans certains cas conservés à l'état gazeux, l'azote retenu avec les autres doit, par suite, être retrouvé en faible proportion par les analyses. Les méthodes d'analyses ne permettent pas de distinguer facilement comment il était retenu, et les réactions qu'on est obligé d'employer laissent encore la plus grande incertitude sur son état primitif dans le métal.

Dans l'examen des conditions que doivent remplir les pièces chauffées dans les foyers métallurgiques pour rester ou devenir étirables, on retrouve donc, de la part des gaz qui existent ou pénètrent dans ces pièces, des actions absolument analogues à celles que j'ai signalées comme produites par les gaz dissous dans les fers et les aciers liquides. Les gaz contenus au-dessus du rouge, suivant qu'ils sont oxydants ou carburants, détruisent l'étirage ou le favorisent dans certaines limites. Les effets produits sont beaucoup

moins prompts et moins complets qu'après la fusion : c'est que l'abaissement de la température diminue à la fois et la quantité des gaz qui interviennent et l'intensité des affinités du carbone et de l'oxygène pour le fer. L'intervention du temps devient donc d'autant plus nécessaire pour arriver à des résultats comparables.

La perméabilité des aciers par les gaz, facile à constater sur les aciers chauffés au-dessus du rouge, diminue avec la température et se retrouve cependant indiquée d'une manière décroissante, par suite plus lente et plus insensible à mesure que la température s'abaisse. Tous les hommes du métier savent que les aciers trop durs pour être étirés immédiatement au moment de leur fabrication, peuvent, s'ils ne dépassent pas certaines limites, s'étirer ultérieurement, lorsqu'ils sont restés exposés à l'air un temps plus ou moins long. On dit aussi que les aciers très-durs s'améliorent avec le temps : ils s'améliorent et deviennent étirables, en effet, parce qu'ils s'adoucissent ; on ne peut voir dans ces faits analogues que le résultat d'un affinage parfois très-lent, dû à une disparition d'une partie du carbone en excès par suite de l'action de l'oxygène de l'air. Les causes, comme le poli de la surface et la trempe, peuvent rendre cette action nulle.

Résumé et conclusions.

Je ne rappellerai pas en détail que, dans toutes les méthodes connues, l'acier est toujours obtenu comme résultat de la réaction de l'oxyde de carbone gazeux sur le fer. Il me suffirait d'ailleurs, s'il pouvait exister quelques doutes sur ce point, de passer en revue les diverses méthodes, en faisant voir que la mise en présence de l'oxyde de carbone gazeux avec le métal en élaboration se retrouve encore à un moment de l'opération dans le cas où ce gaz est fourni par la fonte soumise à l'affinage aussi bien que quand

il est apporté par une matière étrangère au métal. Le puddlage pour acier et la méthode Bessemer offrent un exemple du gaz fourni par réactions opérées sur la fonte : les divers cas de cémentation montrent l'oxyde de carbone apporté directement en dehors de la masse métallique.

Il y a lieu d'observer que parmi toutes les méthodes employées pour la production de l'acier, la cémentation ordinaire est celle dans laquelle l'action de l'oxyde de carbone sur le fer est à la fois la plus nette, la plus lente et la plus progressive; celle qui laisse au temps, cet élément si souvent indispensable, la part la plus large et la plus complète. Après cette observation, il ne paraîtra pas étonnant que la cémentation soit encore certainement, de toutes les méthodes connues, celle qui permet d'obtenir, d'une base ferreuse donnée, l'acier le plus parfait, c'est-à-dire celui qui conserve avec le plus de force ses propriétés aciéreuses.

Pour arriver à préciser les conditions de l'étirage des divers produits métallurgiques qui ont pour base le fer, j'ai étudié spécialement le rôle des gaz du carbone et de l'oxygène dissous ou retenus dans ces produits en les acceptant tels qu'ils se présentent dans les appareils métallurgiques plus ou moins mélangés d'azote. J'ai fait porter l'examen sur les différents faits que permettent d'observer les méthodes employées pour la production de l'acier et particulièrement les méthodes nouvelles, comme la méthode Bessemer qui présente une série complète de produits fondus nouveaux. J'ai cherché ensuite à déterminer ce qui était le résultat des actions ou de la présence des gaz dans les diverses élaborations que les aciers subissent dans les ateliers soit quand la fusion intervient, soit quand les aciers obtenus sont simplement préparés par le réchauffage à recevoir les effets du travail mécanique.

Les faits que j'ai cités, la discussion qui m'a permis de les classer, montrent que les actions des gaz du carbone et de l'oxygène étudiées dans la production et dans les élabora-

tions, se montrent partout semblables : les premières conclusions sont corroborées et complétées par l'examen des phénomènes, dans toute la série du travail de l'acier.

Les gaz carburants, caractérisés par l'oxyde de carbone, conduisent, par réaction chimique, à l'introduction du carbone à l'état de dissolution dans les masses ferreuses solides, dissolution dont l'une des propriétés est la malléabilité à chaud et à froid. Les proportions dans lesquelles le carbone peut être ainsi introduit sont variables ; elles donnent naissance, entre certaines limites, à une série continue de produits étirables ou d'aciers de diverses duretés. Les gaz carburants se retrouvent, en outre, toujours en dissolution dans les aciers liquides et retenus dans les aciers au rouge : ils deviennent ainsi une partie constituante de leur masse et donnent à ces métaux, dans ces conditions de température, un état physique particulier ; de plus, par leur présence et leur dégagement, ils protégent le métal étirable contre les actions des gaz oxydants.

Les gaz oxydants, dans lesquels l'oxygène ou l'acide carbonique dominent, font disparaître la faculté d'étirage, dès qu'ils peuvent exister dans les masses ferreuses ou aciéreuses, partout où leur action oxydante n'est point contre-balancée ; s'ils agissent sur un point, leur action se manifeste par une crique insoudable ; lors du refroidissement des produits fondus, leur dégagement se manifeste avec violence.

Les actions des gaz sont, dans les deux cas, d'autant plus vives que la température du métal est plus élevée : l'action des gaz oxydants est, par suite, plus à redouter pour les produits liquides que pour les produits solides, car j'ai établi qu'aux températures élevées et à l'état fondu, les gaz existent toujours dans les métaux du fer par suite d'une propriété analogue à celle que possèdent le cuivre et l'argent. L'examen des faits m'a conduit à expliquer les causes qui s'opposent à l'emploi industriel du fer fondu non carburé, en faisant voir comment, pour obtenir du fer susceptible

d'étirage, on est exposé en employant la fusion au creuset à retomber dans la série des aciers, par la nécessité d'avoir toujours dans le métal étirable de l'oxyde de carbone disponible, au moins comme obstacle à la présence des gaz oxydants.

L'oxyde de carbone qui est l'élément de la conversion du fer en acier et en produits carburés étirables, est aussi le protecteur indispensable des propriétés utiles de ces divers produits dans toutes les élaborations et manipulations qu'ils subissent pour arriver à l'étirage.

Ces produits du fer, depuis la température où ils deviennent lumineux jusqu'à la température la plus élevée de la fusion, contiennent toujours des gaz retenus ou dissous. L'acier est donc toujours, pendant le temps que durent ces conditions de température, en voie de formation ou de modification par suite des réactions que les gaz, suivant leur nature, déterminent dans sa composition. Les gaz sont absorbés en quantité croissante quand la température s'élève et rejetés en partie quand elle s'abaisse graduellement. L'acier chauffé dans les appareils de la métallurgie n'est donc définitivement constitué, à la composition finale que nous lui retrouvons à froid, que par le fait du refroidissement, et cette composition diffère de celle qu'il présentait à chaud.

Il y a lieu d'observer que les produits fondus prennent un premier état déterminé au moment et par le fait de la solidification ; et que tous les produits, fondus ou non, prennent leur état définitif au-dessous des températures lumineuses. Mais, à chacun de ces points de formation, les réactions qui étaient en voie de s'accomplir sont arrêtées et laissent dans le produit les traces des actions commencées. Cela suffit pour faire comprendre comment certaines actions ne se manifestent que par l'étirage, et comment l'étirage peut être compromis sans même que la masse ait subi un changement de composition appréciable autrement que par les résultats du travail.

Pour détruire les traces d'oxydation qui ont pris naissance dans ces circonstances, il faut ramener le métal à une température analogue à celle à laquelle elles ont été produites. Il est par suite à peu près impossible d'améliorer complétement, par le réchauffage dans les fours, les aciers fondus ainsi manqués à la solidification. C'est donc surtout avant la solidification qu'il faut faire disparaître la possibilité de toute action nuisible; car celles qui ont lieu plus tard sur des pièces solides peuvent être reprises par un réchauffage bien dirigé.

Cette observation achève de fixer les idées sur la différence profonde qui existe entre les produits obtenus par fusion et ceux qui ont été préparés sans arriver à la fusion. Il suffit de l'indiquer pour faire juger de leur valeur relative au point de vue des ressources qu'ils présentent dans les manipulations ultérieures et pour le travail au feu qui doit les conduire à l'emploi.

Je n'entreprends pas d'examiner la nature variable des gaz rejetés lors du refroidissement à la suite des diverses réactions qui s'accomplissent. Cette étude qui exige des expériences directes ne rentre pas dans le cadre que je me suis imposé. Les résultats qu'elle peut fournir sont d'ailleurs moins intéressants qu'on ne pourrait le penser au premier abord. Car ce qu'il importe à l'opérateur de bien connaître, ce sont les conditions dans lesquelles le produit doit se trouver au moment où il échappe aux réactions dont on est maître, pour être livré au refroidissement et abandonné inévitablement à l'action principale des forces internes; alors qu'il ne reste plus qu'à les protéger contre les actions de l'air extérieur en agissant à sa surface pendant un temps très-court : la pratique a depuis longtemps répondu à ce besoin par le bouchage et le fumage des lingotières.

Après avoir essayé de préciser les conditions de l'étirage des produits de pureté ordinaire, j'ai cru utile de chercher aussi à faire passer du domaine des recettes pratiques dans

celui de la science les tours de main généralement employés partout : car la connaissance positive des phénomènes sur lesquels ils reposent permet seule de prévoir et par suite d'opérer toujours à coup sûr même en présence des conditions particulières qui peuvent parfois se présenter.

Les fers et les aciers contiennent d'autant plus de gaz à l'état élastique qu'ils sont à une température plus élevée; si, après les avoir chauffés au rouge, on vient, quand ils sont ainsi imprégnés de gaz, à les refroidir brusquement par la trempe, on comprend que, dans certains cas qui apparaissent comme conséquence possible d'états moléculaires particuliers, les gaz puissent être emprisonnés dans la masse. L'élasticité des gaz, lorsqu'ils sont ainsi retenus, doit changer et accroître celle des produits métalliques placés dans ces conditions. L'obstacle apporté par la trempe opérée en présence des gaz à la cristallisation définie des molécules solides détermine d'ailleurs toujours, lorsqu'il y a passage à l'état vitreux, une augmentation considérable dans la ténacité et la dureté de la masse qui change d'état physique.

J'ai été ainsi conduit, à la suite d'études pratiques, à quelques idées théoriques sur la constitution même de l'acier, que je n'ai pu négliger de faire connaître plus complétement. Mais comme ces idées théoriques ne modifient en rien les conclusions pratiques de ce mémoire et peuvent être considérées comme n'intéressant encore la pratique que d'une manière indirecte, je ne crois pas nécessaire de les reproduire ici en détail.

MÉMOIRE

SUR LES FILONS DE GALÈNE ARGENTIFÈRE DE VIALAS (LOZÈRE).

Par M. L.-E. RIVOT, ingénieur en chef des mines,
professeur à l'École des mines.

INTRODUCTION.

L'exploitation des mines métalliques en France, autrefois dans une situation florissante, est tombée depuis plus de deux siècles dans un état de stagnation des plus regrettables. Les mines de houille, les mines de fer sont exploitées au moment actuel avec une grande activité; les mines de cuivre sont abandonnées, et les filons de galène argentifère que renferme le sol de la France sont considérés presque partout comme inexploitables.

Ce fait doit étonner les ingénieurs (il est vrai très-peu nombreux) qui ont visité avec attention les mines métalliques de l'Allemagne, de l'Angleterre, etc..., et qui ont ensuite exploré les diverses parties de la France. Dans la Bretagne, l'Auvergne, les Alpes, les Pyrénées, le Gard, l'Ardèche, la Lozère, etc., on connaît des milliers d'affleurements, qui, pour le mineur exercé, présentent les caractères les plus favorables; on voit des haldes immenses et des anciennes excavations, qui témoignent de l'activité que les travaux des mines métalliques ont eu jadis dans plusieurs localités.

Les minerais de plomb argentifères se présentent bien plus fréquemment que les minerais de cuivre; les échantillons pris dans les anciens travaux, sur les haldes, ou bien aux affleurements, donnent à l'essai du plomb plus ou moins riche en argent, souvent même d'une teneur exceptionnelle.

Des tentatives nombreuses ont été faites à différentes époques pour mettre en exploitation des filons de galène plus ou moins argentifère, mais la plupart de ces entreprises n'ont donné que des résultats défavorables. Ces insuccès ont beaucoup contribué à établir en France, notamment parmi les capitalistes et même parmi les ingénieurs, la conviction que la plupart de nos mines métalliques sont inexploitables. Les capitaux français se portent de préférence sur les mines des pays étrangers, de l'Allemagne, de l'Espagne, de l'Amérique, etc.

J'ai déjà lutté contre cette opinion générale dans plusieurs des publications que j'ai faites, et dans des conversations avec les personnes qui s'occupent des questions de cette nature : le mémoire que je rédige maintenant a pour but principal de démontrer la richesse du sol de la France, en faisant connaître les résultats obtenus dans la Lozère, aux mines de Vialas. Ces mines présentent des difficultés exceptionnelles, en raison de l'irrégularité des filons, et me paraissent, pour cette raison même, le meilleur exemple à citer à l'appui de la richesse minérale de la France.

Avant de commencer cette description, je crois devoir exposer quelques considérations importantes, relativement aux causes qui ont amené le délaissement des mines métalliques. Bien des raisons ont été avancées par diverses personnes : la spéculation, le manque de patience des actionnaires, la mauvaise direction imprimée aux travaux ou aux opérations commerciales, etc...;

Toutes ces raisons peuvent être vraies dans certains cas, mais ce ne sont pas les seules, ni surtout les plus importantes en général : ce ne sont pas celles qu'il faut invoquer pour la France en particulier, puisqu'elles s'appliquent également aux entreprises faites dans les pays étrangers. Elles peuvent expliquer un certain nombre d'insuccès en France, comme en Allemagne, en Angleterre, ou dans d'autres pays ; mais elles ne peuvent pas justifier

l'abandon presque complet de nos mines métalliques. J'ai pu me faire à ce sujet une opinion parfaitement certaine en étudiant, en France et à l'étranger, les mines elles-mêmes et l'histoire des tentatives faites à différentes époques. Ce qui a toujours manqué en France depuis deux siècles, ce sont les *traditions* ; elles manquent également dans la direction des travaux et dans l'administration, aux directeurs, aux ingénieurs, aux contre-maîtres et aux ouvriers.

A l'étranger, dans les contrées où les mines métalliques sont exploitées sans interruption depuis plusieurs siècles, en Allemagne par exemple, on connaît parfaitement, dans chaque centre de mines, la direction des filons, des failles et des croiseurs; les caractères qui signalent l'enrichissement et l'appauvrissement des filons. En commençant une exploitation nouvelle on sait pour ainsi dire d'avance quelle étendue de travaux il faudra faire, et quels résultats on peut espérer ; les hommes expérimentés ne font pas défaut à l'entreprise. La cause principale d'incertitude dans les résultats est l'irrégularité inévitable dans la richesse des gîtes, et cette incertitude est levée en peu de temps, et avec des dépenses relativement très-faibles, par la comparaison des filons sur lesquels les travaux sont commencés avec les filons analogues, exploités depuis longtemps dans les mêmes terrains.

En France au contraire on ne possède aucune tradition ; lorsqu'on commence l'exploitation sérieuse de mines métalliques dans une contrée dont la richesse est rendue presque certaine par les caractères des affleurements, ou par l'existence de travaux anciens très-développés ; on ne possède aucun terme de comparaison, aucune idée sur l'allure des gîtes, sur les dérangements par des failles ou par des croiseurs. Il est indispensable de faire l'étude minutieuse des filons à une grande profondeur, sur une grande étendue en direction, afin d'acquérir les connaissances nécessaires à une bonne exploitation. Ces études exigent beaucoup de temps

et d'argent, et l'importance des gîtes ne répond pas toujours à l'étendue des sacrifices préliminaires.

Très-rarement les actionnaires ou les propriétaires des concessions ont la patience et l'argent qu'exigent ces études : ils se découragent avant qu'elles soient terminées ; et dans ce cas l'argent a été dépensé en pure perte ; il ne reste même pas, pour ceux qui voudraient plus tard reprendre les travaux, l'indication des écueils à éviter.

Quelquefois le hasard vient en aide à l'entreprise ; les premiers travaux font connaître des colonnes de minerais riches, que le directeur se hâte de faire exploiter dans le but de couvrir les premières dépenses. L'avenir est alors très-incertain si l'ingénieur ne profite pas de cette première richesse pour pousser avec la plus grande activité l'exploration de tous les filons, s'il ne parvient pas à connaître, avant l'épuisement du minerai d'abord découvert, les allures des veines métallifères, des dérangements, des croiseurs, etc.

L'avenir de l'entreprise est assuré seulement à partir du moment où sont complétées ces études, qui sont remplacées en Allemagne et dans d'autres pays par les traditions.

Plusieurs fois déjà les sociétés qui se sont formées en France pour l'exploitation des mines métalliques, méconnaissant l'indispensabilité de ces premières études, ont pensé pouvoir les éviter en appelant des ingénieurs étrangers, jouissant en Allemagne ou en Angleterre d'une réputation méritée.

Elles leur ont demandé d'étudier en quelques jours les affleurements, ou bien des travaux peu développés, de donner leur avis sur la richesse probable, sur les travaux à exécuter, sur le capital et sur le temps nécessaires. Ces ingénieurs se sont trouvés dans la nécessité de baser leur opinion sur la seule comparaison des affleurements et des caractères extérieurs avec ceux qu'ils ont étudiés dans leur propre pays ; très-fréquemment ils ont été induits en erreur

par des analogies apparentes. Dans chaque région métallifère, la distribution des minerais dans les filons suit des règles particulières; la relation qui existe entre la richesse des filons, à une certaine profondeur, et les caractères de leurs affleurements, diffère beaucoup dans les diverses contrées, alors même que les filons traversent des terrains analogues. L'expérience du mineur anglais ou allemand, acquise ordinairement dans un district spécial, doit souvent être en défaut lorsqu'il l'applique, après une exploration rapide, dans un pays qu'il ne connaît pas.

L'avis d'un habile ingénieur étranger est au contraire très-précieux lorsqu'il s'agit de travaux très-développés, dirigés peut-être d'une manière défectueuse. En effet, il peut dans ce cas étudier et comprendre en peu de temps, grâce à son expérience, les caractères des affleurements et des filons eux-mêmes, constater les analogies et les différences qui existent entre ces filons et ceux de son pays, et indiquer presque avec certitude les travaux qu'il convient de faire, et les résultats qu'il est permis d'espérer.

La description des mines de Vialas, dans lesquelles les travaux sont très-développés, me paraît très-propre à mettre en évidence les difficultés que présente l'exploitation des filons, et à montrer combien il faut de temps et de persévérance pour arriver à la connaissance à peu près exacte de l'allure des veines métallifères.

Je divise mon mémoire en deux chapitres. Dans le premier je donne la description abrégée des travaux; j'insiste principalement sur la disposition des filons, des croiseurs, des failles, sur leur âge probable, sur les époques successives d'arrivée des gangues et des minerais. Dans le second j'indique brièvement la préparation mécanique, le traitement métallurgique, et les résultats obtenus pendant les dernières années.

CHAPITRE PREMIER.

DESCRIPTION DES MINES DE VIALAS (LOZÈRE).

La situation des mines de Villefort et Vialas a été décrite à différentes époques; les mémoires les plus récents, et en même temps les plus étendus, sur ces mines ont été publiés par M. l'ingénieur Lan, dans les *Annales des mines*, en 1854 et en 1855. Ces publications font parfaitement connaître l'état de ces mines en 1854, c'est-à-dire très-peu de temps avant les travaux de recherche qui, dans ces dernières années, ont permis à l'exploitation d'atteindre un degré très-remarquable de prospérité. M. Lan a donné dans ses mémoires les plus grands détails sur l'historique des mines et sur les dispositions des veines : je pense donc devoir passer très-rapidement sur la partie que M. Lan a traitée bien complétement; je n'insisterai que sur les points les plus importants, les caractères des filons, des croiseurs et des failles, tels qu'ils ont été mis en évidence par les travaux récents.

§ 1er. *Historique.*

L'époque à laquelle a commencé l'exploitation de la galène argentifère à Vialas est encore incertaine; elle est très-ancienne, puisque dans certains quartiers de la mine on a trouvé des traces d'exploitation par le feu. Les travaux modernes ont été entrepris en 1781 sur des affleurements assez riches que le hasard fit découvrir, au moment où l'usine était établie à Villefort et traitait la galène exploitée dans les mines des environs. La fonderie est restée à Villefort jusqu'en 1827, époque à laquelle les mines de cette région ont été complétement abandonnées, et toute l'activité de l'entreprise concentrée à Vialas.

La production annuelle a varié généralement entre 700

et 1,000 kilog. d'argent; elle s'est élevée à 1,500 kilog. en 1856, sous l'habile direction d'un ingénieur du Harz, M. Wimmer, que des circonstances de famille ont rappelé trop tôt dans sa patrie. Mais, bientôt après son départ, l'épuisement prochain des minerais reconnus a forcé à faire de grands travaux de recherche et d'aménagements; leur résultat le plus immédiat, mais non pas le plus important, a été de porter la production à 1,920 et 1,930 kilog. d'argent en 1861 et 1862. Ces travaux ont permis de reconnaître exactement les relations des filons, exploités dans des quartiers assez éloignés, de distinguer nettement les veines métallifères, l'influence des croiseurs et des failles, c'est-à-dire de créer pour les mines de Vialas un ensemble de renseignements équivalent aux traditions des districts métalliques de l'Allemagne; et c'est là ce qui assure l'avenir des mines de Vialas.

Les schistes qui entourent le massif granitique de la Lozère présentent de nombreux affleurements de galène plus ou moins argentifère, des filons stériles, quartzeux ou barytiques, des systèmes de failles et de cassures, dont l'analogie avec ce qui est connu maintenant à Vialas est parfaitement évidente. Les études faites dans une localité spéciale acquièrent par là une importance considérable; elles permettent de diriger avec sûreté des travaux de recherches dans un grand nombre de localités, et j'ose espérer que dans un avenir assez rapproché cette partie de la France pourra produire un poids considérable d'argent.

§ 2. *Aperçu géologique.*

La géologie de la contrée est parfaitement connue par les belles cartes qui ont été dressées par M. Émilien Dumas; leur exactitude est bien appréciée par toutes les personnes qui ont eu besoin de les consulter; je ne me permettrai donc pas d'aborder ce sujet.

Le massif granitique de la Lozère est entouré de tous côtés par des micaschistes, qui passent graduellement à des schistes à peine quartzeux, et qui constituent le véritable terrain métallifère. Les schistes sont recouverts de plusieurs côtés par des terrains plus modernes, par les bassins houillers de Portes, de la Grand'Combe, de Bessège, par les assises du trias, du lias, par les calcaires jurassiques.

Les minerais et quelques-unes des matières de remplissage des filons qui traversent les schistes se retrouvent encore dans le terrain houiller, dans le trias et même dans le lias; les gisements connus jusqu'à présent dans ces terrains affectent des allures analogues à celles des gîtes de Vialas; mais je ne peux m'en occuper dans mon travail. Je dois seulement constater que les failles et les cassures observées dans les terrains qui recouvrent les schistes correspondent parfaitement, pour leurs directions, aux systèmes de filons reconnus dans les environs de Vialas, de Villefort, de Bedouès, de Bluech, du Collet, etc., c'est-à-dire de tous les points où des travaux plus ou moins développés ont été faits dans les schistes. Cette concordance est une première indication, sinon une preuve certaine, que les filons et les failles des micaschistes se rattachent à des phénomènes géologiques dont l'effet s'est étendu sur toute la contrée.

Lorsqu'on étudie avec attention la disposition des schistes et celle du granite, on ne tarde pas à se convaincre qu'il n'y a pas un passage gradué entre les deux roches, et que le contact du granite n'a eu aucune influence sur l'état métamorphique des schistes. Cependant, en quelques points, notamment à la fonderie de Vialas, on voit près du contact des deux roches des bandes feldspathiques ou micacées qui semblent marquer la séparation; mais leur présence dans cette position spéciale est purement accidentelle, car ces bandes forment de véritables filons qui traversent les schistes et pénètrent même dans le granite. Elles sont d'ailleurs bien postérieures à la formation des micaschistes, car

elles sont coupées par plusieurs des systèmes de filons métallifères exploités.

Presque partout les schistes sont simplement posés sur le granite, sans qu'il y ait d'altération visible au contact. Près de Bedouès s'élève, sur la rive gauche du Tarn, une montagne granitique, de forme presque conique, dont le sommet seul présente le granite à nu ; à la partie inférieure, les schistes recouvrent le granite pour ainsi dire comme d'un manteau: leur épaisseur dépasse à peine quelques mètres, ainsi qu'on peut s'en assurer dans plusieurs ravins ; et cependant ces schistes ne paraissent nullement dérangés. Ils sont traversés par des filons métalliques dont la puissance et l'allure sont identiques avec celles des veines de la même formation qui existent, à peu de distance, dans le terrain schisteux plus puissant.

Dans toutes les parties de la contrée, les vallées et les montagnes du granite se prolongent sans discontinuité notable dans les schistes, et ces derniers semblent être partout moulés sur le granite, qu'ils recouvrent sur une épaisseur très-variable, peut-être assez considérable dans les vallées et sur les flancs des montagnes, mais certainement très-faible dans tous les points élevés. J'ai acquis cette conviction en parcourant le pays dans tous les sens, et je considère cette observation comme très-importante au point de vue de l'exploitation des mines métalliques. Tous les filons qui sont exploitables dans les schistes se continuent dans le granite, mais se réduisent dans ce terrain à des fentes dont la puissance atteint à peine 2 ou 3 centimètres, et qui, par suite, ne peuvent plus être exploitées avec bénéfice.

§ 3. *Filons de Vialas.*

Je joins à ce mémoire, pour faciliter la description des filons, une réduction du grand plan de surface qui a été dressé en 1858-59. Il forme le complément indispensable

des plans de mine qui accompagnent le mémoire de M. l'ingénieur Lan. Sur ce plan sont tracés les affleurements des filons métallifères, des croiseurs et des failles, les galeries à travers bancs qui ont été percées à diverses époques pour atteindre les filons, et quelques-uns des principaux travaux souterrains exécutés depuis 1781. Le tracé des ruisseaux et des crêtes des montagnes donne une idée suffisamment approchée du relief de la contrée.

Description de la surface (Pl. IX). — Le village de Vialas est situé (en dehors des limites de la carte) sur le versant sud de la Lozère, à peu près à la séparation du granite et des schistes : au-dessous, et à environ 100 mètres en contre-bas, coule le torrent *le Luech*, presque desséché pendant l'été, mais très-impétueux pendant la saison des pluies. Il prend sa source à environ 16 kilomètres à l'ouest de Vialas, près de Saint-Maurice, et va se jeter dans la Cèze au-dessus de Peyremale, tout auprès du terrain houiller de Bessège. Le cours du Luech au-dessous de Vialas est dirigé de l'ouest à l'est; il présente des coudes très-nombreux, brusques et peu étendus.

La fonderie et les ateliers de préparation mécanique sont construits sur le ruisseau de la Picadière, au point où il se jette dans le Luech.

Les travaux d'exploitation sont faits dans le massif de micaschistes qui s'étend en face du village, au sud de la fonderie, et qui s'élève irrégulièrement depuis le Luech jusqu'à la crête de l'Espinas. La crête est dirigée à très-peu près de l'est à l'ouest, et elle sépare deux parties bien différentes des schistes. Sur tout le versant nord, les schistes sont brisés, à un point tel qu'il est impossible de reconnaître leur pendage et leur direction générale. Au contraire, sur le versant méridional de la crête, du côté de Saint-Andéol, les schistes sont feuilletés, et présentent une régularité très-remarquable de pendage et de direction : ils sont dirigés sensiblement de l'est à l'ouest, et plongent

vers le sud sous un angle de 20 à 25°. Aucun affleurement n'a encore été signalé dans cette partie régulière des schistes, tandis que les failles, les cassures, les glissements de terrain, les croiseurs et les filons métallifères sont très-nombreux dans la partie brisée.

J'ai conservé dans la carte de la surface la disposition qui a été adoptée à Vialas, le sud en haut et le nord en bas : c'est le contraire de ce qui se fait ordinairement. La raison de cette inversion est la suivante : c'est toujours de l'usine qu'on a pris l'habitude de considérer la contrée métallifère ; elle est le point de départ de toutes les explorations : le sud étant placé en haut de la carte, les affleurements se trouvent dans la position dans laquelle on les observe sur le terrain.

Dans les explications qui vont suivre, je prendrai également l'usine comme point de départ. Je dirai d'abord quelques mots sur les configurations de la surface.

A l'est, la montagne du Bosviel s'avance jusqu'au Luech, qu'elle domine par ses escarpements irréguliers ; sa pente est très-abrupte du côté du nord, et sa crête s'élève lentement jusqu'à celle de l'Espinas, dans la direction du sud-sud-ouest. Un chaînon s'en détache et court vers l'usine dans la direction N.-O. : ses pentes sont relativement assez douces, si on les compare à celle que le Bosviel présente vers le nord ; cependant à l'ouest, au ruisseau qui descend N.-S. vers l'usine, il présente encore des escarpements assez élevés. En remontant le ruisseau dont je viens de parler, on arrive au Colombert, à la jonction des deux ruisseaux des Combes et de la Picadière.

Le ruisseau des Combes descend de l'entonnoir que forment les crêtes de l'Espinas, du Bosviel et du Colombert ; son cours, extrêmement brisé, ne s'éloigne pas beaucoup, dans son ensemble, de la direction S.-O. à N.-E. Auprès de la jonction il prend la direction N.-S., ensuite celle N.-O. La montagne du Colombert, très-escarpée à la réunion des

deux ruisseaux, s'élève ensuite en pentes assez douces jusqu'à la crête de l'Espinas, et dans une direction S.-O.

Le ruisseau de la Picadière, dirigé dans son ensemble à peu près E.-N.-E., très-encaissé auprès de la jonction avec le ruisseau des Combes, descend du col de Castagnols, et reçoit les eaux de plusieurs torrents N.-S. qui sillonnent la pente nord de la montagne de la Picadière.

Au S.-O. de l'usine, la montagne de Castagnols s'élève à une grande hauteur. Sa pente vers le nord est assez douce, et n'offre sur les bords du Luech que des escarpements peu importants; ses pentes sont plus abruptes vers l'est et vers le sud, principalement à la jonction des deux ruisseaux. Sa crête se contourne, presque en arc de cercle, du Colombert jusqu'au village de Castagnols.

Les schistes qui composent ces montagnes sont généralement gris, assez durs, très-peu feuilletés; ils contiennent beaucoup de mica dont la couleur varie du rouge-brun au vert plus ou moins foncé. Ils sont très-quartzeux dans certaines parties, tandis qu'en un grand nombre de points on distingue à peine quelques noyaux de quartz intercalés entre les feuillets. Du reste, la nature des schistes n'est pas évidente sur toute l'étendue de la contrée; la végétation et surtout les débris du terrain recouvrent une grande partie de la surface du sol; on ne distingue nettement les affleurements des filons, les fentes et la nature des schistes que dans les ravins, et là où les schistes présentent des escarpements. On peut cependant suivre assez bien, en multipliant les explorations, les différents systèmes de filons, de failles et de cassures qui ont presque haché les schistes dans tous les sens, et qui donnent un intérêt tout spécial à l'étude de cette partie de la Lozère.

Affleurements. — L'examen de la surface ne suffit pas pour faire reconnaître les filons réellement métallifères des croiseurs à peu près stériles; l'ingénieur qui chercherait à appliquer aux affleurements de Vialas l'expérience acquise

dans d'autres contrées métallifères serait induit en erreur presque continuelle. Des fentes à peine marquées, tenant la surface une quantité insignifiante de minerai, répondent à une certaine profondeur à des richesses considérables, tandis que des affleurements puissants, présentant beaucoup de minerai riche en argent, n'ont conduit, dans les recherches souterraines, qu'à des veinules tout à fait inexploitables. L'étude de la surface est très-importante, mais elle n'acquiert sa valeur pratique qu'en raison des travaux développés qui ont été faits dans les filons, à une grande profondeur, et sur une étendue horizontale considérable.

En réunissant tous les résultats obtenus par les recherches, et par les travaux faits dans les diverses parties de la mine et à la surface, on est enfin arrivé à connaître assez exactement les allures de tous les filons et de tous les dérangements, à déterminer leurs âges relatifs, ainsi que les époques probables de l'arrivée des minerais et des gangues. Ce sont ces résultats que je vais chercher à décrire : ils serviront certainement de point de départ à toutes les explorations sérieuses qui seront entreprises dans les schistes qui entourent le massif granitique de la Lozère. Je m'étendrai fort peu sur les travaux d'exploitation, dont l'intérêt est purement local; j'indiquerai seulement a position des principales galeries, et de ceux des travaux dont la connaissance est indispensable à la description des filons.

État des travaux. — Les travaux commencés en 1781 ont eu lieu vers l'ouest, dans la région qui porte encore maintenant le nom de *Picadière*; ils ont été poussés progressivement de la surface jusqu'à la profondeur du deuxième étage actuel. D'après les anciens plans, et d'après les documents qui se trouvent encore dans les archives de l'usine, on a exploité plusieurs veines, dirigées à peu près de l'est à l'ouest, contenant de la galène riche en argent, et dérangées par de nombreuses failles. On voit encore à la

surface les premières excavations, partiellement éboulées, auprès du filon quartzeux marqué en jaune sur la carte, et nommé le *grand filon du sud*. Les premières galeries à travers bancs par lesquelles on a été recouper les veines métallifères, existent encore : elles ont été ou sont utilisées pour la reconnaissance des vieux travaux, ou pour des recherches nouvelles ; ce sont : le percement A, le percement *Montandon*, et le percement *de la Picadière*. Les cotes 240, 217.64, 182, qui sont marquées sur la carte, représentent les élévations de ces galeries au-dessus du percement *Fauconnier*, maintenant en cours d'exécution, commencé depuis longtemps à l'est de la montagne du Bosviel. Son entrée est le zéro de l'échelle des hauteurs verticales, le point de départ de toutes les cotes qui sont portées sur la carte.

Les anciens travaux de la Picadière renferment certainement encore des colonnes minérales, qui seront bientôt mises en exploitation par les recherches entreprises dernièrement, à l'ouest du percement de la Picadière. A l'est de ce percement on a terminé, dans ces dernières années, l'abatage du minerai dans deux veines, dirigées à peu près de l'est à l'ouest, et qui se trouvent sur le prolongement de celles anciennement exploitées à la Picadière ; elles appartiennent au faisceau qu'on a désigné sous le nom de filon des *Avesnes*.

Au sud de l'usine, à la jonction des deux ravins des Combes et de la Picadière, se trouve l'entrée du premier étage de la mine, le percement du *Colombert*, qui s'avance vers le sud au delà des veines des Combes, récemment découvertes ; sa cote est de 160 environ. Le percement a coupé un grand nombre de veines et a servi à leur exploration et à leur exploitation. Les travaux les plus développés ont eu lieu dans le filon *des Anciens* et dans celui des *Avesnes*. Le premier est le plus voisin de l'entrée ; il a été exploité principalement du côté de l'est ; ces travaux sont maintenant en partie éboulés et n'ont pas été repris active-

ment dans ces dernières années. Dans les veines des *Avesnes*, les travaux se sont développés à l'est et à l'ouest du percement. On a fait dernièrement quelques recherches du côté de l'est; à l'ouest plusieurs galeries ont été faites : la plus longue est celle dite de *l'Espérance*, qui a été poussée jusqu'au grand filon du sud. On travaille encore maintenant de ce côté à la reprise de quelques massifs de minerais, laissés par les premiers travaux; et surtout à des galeries d'exploration poussées au nord et au sud, traverse *Richard*, traverse *du Bloc*.

Le percement du Colombert, prolongé dernièrement vers le sud; a coupé des veines minérales très-riches; formant un faisceau presque parallèle à celui des Avesnes; le filon *des Combes*, qu'on cherche maintenant à atteindre par un grand nombre de traverses, dirigées vers le sud, et partant des divers points facilement abordables des travaux ouverts dans les *Avesnes*.

La partie la plus riche des veines des Avesnes s'est trouvée au mur; et à l'ouest d'un filon croiseur, nommé le *Bois de Petit*, dont l'affleurement se voit à l'entrée du percement du Colombert. Au toit de ce croiseur les veines se sont présentées plus pauvres; cependant encore exploitables dans certaines parties : il reste encore beaucoup de minerai à enlever au-dessus du niveau du Colombert.

En montant le ravin des Combes on distingue parfaitement les affleurements des veines de tous les systèmes de filons, dont la direction est à peu près E.-O. et de plus l'affleurement d'un croiseur très-important, parallèle au *bois du Petit*, qu'on nomme à Vialas le *troisième croiseur*. Divers travaux ont été faits à différentes époques dans ce ravin. Le plus ancien est celui du *point O* qui a été commencé sur un filon barytique et quartzeux, et par lequel on a exploité du minerai en passant insensiblement dans toute une série de filons différents. L'exploration et l'exploitation ont été poursuivies irrégulièrement jusqu'au grand filon du *Bosviel*,

qui est dirigé à peu près N.-E. à S.-O. (magnétique) et qui limite vers l'est tous les travaux faits jusqu'à présent.

Au-dessus du *point O* se trouve le *percement N* par lequel on a été rejoindre les veines du faisceau des *Avesnes*, dont j'ai déjà parlé : les travaux ont été poussés principalement à l'est ; la plus grande partie, sinon la totalité du minerai a été enlevée jusqu'au *Bosviel*, et de ce côté les veines se sont présentées avec une grande richesse. Le filon que j'ai cité tout à l'heure, le troisième croiseur affleure auprès de l'entrée du percement.

Les travaux du *percement Neuf*, un peu au-dessus du précédent, ont été commencés vers l'est dans une des veines du filon des *Avesnes*, et continués jusqu'au *Bosviel* : la partie la plus riche s'est présentée près de ce filon ; on travaille encore maintenant de ce côté dans les *kasths Villemereux*, qui ont été commencés il y a plus de vingt ans à un niveau bien inférieur, au 2e étage, et ont été montés successivement jusqu'à la surface. Entre le *Bosviel* et le troisième croiseur, qui sont à peu près parallèles, existent deux croiseurs très-importants, *le premier et le deuxième croiseurs*, dont la direction est à peu près N.-N.-E. à S.-S.-O. La plus grande richesse minérale des veines des *Avesnes* s'est trouvée entre le *Bosviel* et le *premier croiseur*. On explore maintenant par le *percement Neuf* quelques-unes des veines des *Avesnes*, qui avaient été laissées de côté par le précédent directeur.

On a de même tout dernièrement commencé des recherches à l'ouest, et au même niveau ; elles n'ont été poussées que jusqu'au *troisième croiseur*, dans lequel on a pris une quantité considérable de minerai. De ce côté les travaux ont rejoint ceux qui avaient été faits dans les mêmes veines par le *percement du Colombert*.

On a repris depuis trois ans des travaux anciens faits à une vingtaine de mètres au-dessus du *percement Neuf*, et vers l'est, au *Trou du loup*. Les explorations nouvelles ont

été poussées dans les *veines des Avesnes*, et ont déjà fourni de bon minerai; elles n'ont pas encore dépassé le *deuxième croiseur*.

Plus haut encore dans le ravin on voit, auprès de l'affleurement du filon des *Combes*, un petit travail fait anciennement sur ce filon, et abandonné par suite du peu de richesse des veines. Leur exploration n'a pas été reprise de ce côté, mais on a recoupé ces veines par de nombreuses traverses partant du faisceau des *Avesnes*, au *Trou du Loup*, au *percement neuf Est et Ouest*, au *percement N*, et au *premier étage*. D'autres traverses sont commencées dans le même but, et depuis plusieurs années, plus près du *Bosviel* à l'est, et à l'ouest par le *Bois de Petit* et dans le quartier de la Picadière.

A l'est de l'usine, sur la pente nord de la montagne du Bosviel, se trouvent les entrées des deux percements qui forment le deuxième et le troisième étages de la mine.

Le percement du deuxième étage sert de voie de roulage principale pour tous les travaux; les ateliers de triage sont établis à son entrée; il va rejoindre presque à angle droit le filon du *Bosviel*, et l'atteint à l'intersection de l'une des branches du grand filon quartzeux stérile, qui est désigné sous le nom de *grand filon du Nord*. La voie de roulage a été conservée dans les anciens travaux faits dans le *Bosviel*; elle est marquée sur la carte sous le nom de *galerie Villemereux*. Les anciens travaux dans le *Bosviel* n'ont guère dépassé l'intersection des veines des *Avesnes*; on a essayé dernièrement de continuer les recherches vers le sud; on a même retrouvé une certaine quantité de minerai, mais le manque d'air a promptement déterminé l'abandon de ces travaux.

A partir du *Bosviel* on a suivi en marchant vers l'ouest une des veines des *Avesnes*, jusqu'au delà du *troisième croiseur* : la partie voisine du *Bosviel* a seule présenté une certaine richesse; les kasths *Villemereux* ont été montés sur

la partie comprise entre le *Bosviel* et le *premier croiseur*; ils atteindront bientôt la surface du sol; les *kasths Mazoyer*, à l'ouest du *deuxième croiseur*, ont été beaucoup moins riches, et n'ont pas dépassé dans la hauteur le niveau du *Percement neuf*.

Au nord de ces travaux on a exploité ou seulement exploré un autre système de veines, dans lesquelles le minerai ne s'est présenté que par places avec une certaine abondance. Il est vrai qu'en observant avec attention les anciens travaux, ou même seulement les caractères et les directions de la voie de roulage (*galerie Solberge*) conservée dans ces travaux déjà assez anciens, on reconnaît aisément qu'on a passé successivement par plusieurs filons très-différents, comme cela est arrivé dans les travaux faits de ce côté aux niveaux supérieurs; on n'a exploité que des lambeaux isolés du filon métallique nommé le filon des *Anciens*. Il reste encore du minerai au sol de la galerie *Solberge*, au moins dans le voisinage du *Bosviel*; toute la partie supérieure est exploitée, ou présente du minerai trop irrégulièrement disséminé pour qu'il y ait intérêt à faire des recherches nouvelles.

La voie de roulage est prolongée vers l'ouest, en partie à travers bancs, en partie dans le *Bois de Petit*, jusqu'aux veines des *Avesnes*, dans lesquelles on exploite encore du minerai à l'ouest de l'ancien quartier de la Picadière. Ces veines ont présenté une assez grande richesse au mur du *Bois de Petit*, mais tout le minerai a été abattu au-dessus du deuxième étage.

On a fait de ce côté l'exploration du troisième étage par le puits *Sainte-Barbe*, mais les veines se sont présentées sous un aspect peu favorable, et de plus l'abondance de l'eau et le manque d'air ont déterminé l'abandon des travaux; ils seront repris plus tard quand la galerie du troisième étage aura été mise en communication avec le puits *Sainte-Barbe*.

La distance verticale entre le Colombert et l'entrée du percement du deuxième étage est de plus de 35 mètres, mais il y a eu beaucoup de hauteur perdue, et du côté du filon le *Bois de Petit*, on n'a plus que 17 à 18 mètres de différence de niveau.

Le percement du troisième étage (nommé le percement *Chapelle*) est à 48 mètres au-dessous de celui du deuxième étage ; il va couper le *Bosviel* à l'intersection d'une autre veine quartzeuse du grand *filon du Nord* ; il suit la veine du mur du *Bosviel* sur plus de 500 mètres de longueur, et se continue dans une branche des *Avesnes* jusqu'au *troisième croiseur*. A partir de ce point on a fait une traverse vers le nord, et poussé des explorations très-étendues dans les veines des *Avesnes* et dans celles des *Anciens*. Partout on a rencontré très-peu de minerai, et les travaux sont momentanément abandonnés.

Le filon du *Bosviel* a présenté du minerai sur presque toute la hauteur, depuis le *troisième étage* jusqu'aux affleurements, et en direction depuis les branches quartzeuses du *filon du Nord* jusqu'au faisceau des *Avesnes* ; l'ancienne exploitation a été très-développée, et maintenant encore on a pu reprendre avec avantage certaines parties laissées comme piliers ; le nom de *grands kasths*, donné à l'ancienne exploitation, est un témoignage de son importance. Plusieurs percements ont été faits à diverses hauteurs sur le flanc de la montagne, allant rejoindre le filon ; ils sont maintenant abandonnés, et ne sont pas figurés sur la carte.

A l'est du *Bosviel* on n'a fait jusqu'à présent que des travaux peu développés, quelques recherches auprès des *Chauffès*, et une longue galerie à travers bancs, le *Martinet* ou *galerie Fauconnier*, qui doit être le *quatrième étage* de la mine. Son entrée est au bord, et sur la rive droite du Luech, et, ainsi que nous l'avons déjà dit, c'est le point qui sert d'origine à toutes les côtes des hauteurs. La galerie

est dirigée de manière à couper le filon du *Bosviel* au-dessous de la partie la plus riche des grands kasths.

CARACTÈRES DES DIFFÉRENTS SYSTÈMES DE FILONS. — L'exposé qui précède est très-abrégé, mais il me paraît suffire pour donner une idée de l'immense développement des travaux dans la mine de Vialas ; une description plus détaillée serait sans aucun intérêt pour la plupart des lecteurs. Je pense qu'il convient mieux d'insister sur les résultats importants obtenus par ces travaux, c'est-à-dire sur les caractères des filons, des croiseurs, des failles, etc., et sur leur relation avec les grands phénomènes géologiques.

Les systèmes de filons et de failles sont très-nombreux, et chacun d'eux est représenté par plusieurs fentes ; aussi la mine de Vialas présente-t-elle au premier aperçu la plus grande irrégularité. Il faut une étude attentive pour reconnaître les systèmes différents, et pour juger leurs âges relatifs d'après les rejets aux croisements. Cette étude est du reste facilitée par la constance remarquable qu'offrent les caractères des différents filons, failles, etc. : après les recherches faites dans ces dernières années il est devenu comparativement assez facile de distinguer à quel système de filons appartient chaque lambeau, si petit qu'il soit, qui est rencontré par les travaux.

Les matières de remplissage et les minerais présentent également des caractères particuliers dans les divers systèmes de filons; la disposition de la galène, tantôt coupée nettement par les croiseurs, tantôt se prolongeant sans discontinuité jusque dans ces filons, fournit des preuves irrécusables de nombreuses réouvertures, et de périodes successives d'arrivée du minerai.

Il me paraît utile de considérer séparément ces trois ordres de faits : les fentes, indépendamment (au moins jusqu'à un certain point) des matières qui remplissent la plupart d'entre elles ; les matières de remplissage, gangues et mi-

nerais, et la recherche des époques probables de réouverture des filons.

J'adopterai pour énoncer les directions l'usage allemand, introduit à Vialas par M. Wimmer; la représentation par les *heures* de la boussole est bien plus commode pour mettre en évidence l'analogie des veines formées et remplies aux mêmes époques, à peu près parallèles, qui ne sont connues que sur une faible longueur, et dont les directions observées offrent des différences de quelques degrés. L'heure de la boussole est de 15° : les heures se comptent à partir du nord magnétique vers l'est et le sud. Il est toujours facile de passer de la direction en heures à la direction en degrés rapportée au méridien vrai; la déclinaison de l'aiguille aimantée, à la fonderie, évaluée au moment où les plans de la mine ont été terminés, était de 18°30′ vers l'ouest.

FILONS, FAILLES ET CASSURES OBSERVÉS A VIALAS. — Les différents systèmes de filons, de failles, de fentes dont l'existence est bien constatée dans les mines de Vialas, et qui se retrouvent dans toute la contrée, sont énumérés dans le tableau suivant; je les nomme d'après leur ordre d'ancienneté, déterminée par les croisements; les premiers inscrits sont les plus anciens.

1°	Système de filons,	h. 6 à 7. Direction vraie. . . .	E. 11 N.
2°	—	h. 5	E. 33° 30′ N.
3°	—	h. 4	N. 41° 30′ E.
4°	—	h. 8 à 9.	O. 19 à 20° N.
5°	—	h. 1	S. 3° 30′ E.
6°	—	h. 3.	N. 26° 30′ E.
7°	—	h. 6	E. 18° 30′ N.
8°	—	h. 10 à 11.	N. 40° 30′ O.
9°	Failles.	N.-S	N. 18° 30′ O.
	Failles (*). . . .	h. 11	S. 33° 30′ E.

Il faut encore ajouter à ces systèmes des glissements de ter-

(*) L'âge de ces failles n'étant pas déterminé, je ne leur assigne aucun numéro.

rains qui ont causé des dérangements notables, mais qui sont très-imparfaitement étudiés : leurs directions générales s'éloignent peu de E.-O. magnétique et de l'heure 10.

Les différents systèmes sont marqués sur la carte par des couleurs différentes, à l'exception des 5e et 6e et des failles h. 11 dont les affleurements ne sont connus que sur un petit nombre de mètres ; il est presque impossible de reconnaître à la surface auquel des trois systèmes appartiennent des cassures non remplies, qu'on observe pour ainsi dire en un point. Je les ai marqués presque tous de la même couleur, avec le signe N.S. : c'est seulement dans la mine qu'il est possible de distinguer nettement ces trois systèmes. J'appelle particulièrement l'attention des lecteurs sur la *plongée* des filons, qui est également marquée sur la carte : pour Vialas, et généralement pour toutes les mines de la Lozère, la *plongée* des filons est un caractère de richesse ou de stérilité tout aussi important que la *direction*.

1° SYSTÈME H. 6 à 7.— E. 11° N. vrai. — Les filons de ce système sont peu nombreux, mais assez puissants et bien caractérisés : ils plongent tous vers le sud sous un angle de 75 à 80°. On en connaît deux assez réguliers dans la partie occidentale de la mine ; on peut suivre leurs affleurements depuis le Colombert jusque dans le haut du ravin de la Picadière : l'un d'eux n'a guère plus de 0m,25 de puissance ; l'autre a plus de 0m,75. Ils sont remplis par du sulfate de baryte, d'un blanc laiteux, à texture cristalline, et ne paraissent contenir que des mouches ou des rognons de minerai. La veine la plus au nord a été coupée par le percement de *la Picadière*, et a présenté des veinules de galène argentifère, dont la présence a déterminé quelques travaux ; mais ce filon ne s'est pas montré suffisamment riche, et la recherche a été bientôt abandonnée.

A l'est du Colombert, les affleurements barytiques peuvent être suivis avec peine jusqu'au *Bosviel ;* leur puissance est

assez grande, et chacun des deux filons se divise en plusieurs points en veinules également barytiques.

On a fait des travaux très-prolongés dans la partie correspondante de la mine, depuis le troisième étage jusqu'aux affleurements, et depuis le *Bois-de-Petit* jusqu'au *Bosviel*, sur un groupe de veines barytiques qu'on nomme le *Filon des anciens*. Cette dénomination provient de ce que les plus anciens travaux de Vialas, ceux qui sont antérieurs à l'emploi de la poudre, ont été faits dans ce filon : on doit faire à ce sujet la curieuse observation que ce système h. 6 à 7 est réellement le plus ancien, puisque les veines sont coupées par tous les autres filons et failles.

Au troisième étage on connaît maintenant trois veines barytiques distantes l'une de l'autre d'une dizaine de mètres, d'une puissance de $0^m,60$ à $0^m,80$, et généralement stériles. Au-dessus du deuxième étage on ne connaît plus que deux veines, et une seule d'entre elles a donné lieu à des travaux d'exploitation. Elle est tellement dérangée par des croisements très-nombreux que l'abatage du minerai a été fait dans des filons très-différents; en parcourant les galeries du *point O* et celle du deuxième étage (*galerie Solberge*), on ne reconnaît que des lambeaux isolés les uns des autres appartenant réellement au filon des *Anciens*.

La galène contenue dans ce filon est riche en argent (500 grammes d'argent aux 100 kilog. de plomb); elle est en grains assez fins et se trouve intimement mélangée avec du quartz cristallin, formant des veines ou des zones dans la baryte, ou des veinules pénétrant dans les fissures de la gangue barytique. La disposition du minerai semble prouver qu'il est arrivé dans le filon à la suite d'une réouverture, postérieurement au remplissage des fentes par le sulfate de baryte. La gangue barytique par elle-même ne semble pas être métallifère.

Les épontes des filons du système h. 6 à 7 sont très-nettes; il n'y a pas de salbandes dans les parties stériles, c'est-à-

dire dans celles qui ne contiennent que du sulfate de baryte; au contraire, dans les parties métallifères, on voit souvent des salbandes d'une faible puissance, et les zones contenant du minerai renferment presque partout des fragments de schistes encaissants, mélangés irrégulièrement avec le quartz et la galène. C'est là encore une preuve de la réouverture des fentes, et d'une minéralisation postérieure au premier remplissage exclusivement barytique.

On connaît des filons du même système à de grandes distances de Vialas, à l'ouest jusqu'à *Cocurès*, non loin de *Florac*, à l'est jusqu'à *Tarabias*, au nord du bassin houiller de Portes, dans le *Gard*. Partout on observe la même disposition; le minerai riche en argent est accompagné de quartz, et pour ainsi dire juxtaposé à la baryte.

2° Système h. 5. — E. 33° 30′. N. — Le système des veines h. 5 est le plus important à Vialas, car c'est le seul qui puisse être considéré comme réellement métallifère. Il est représenté à la surface par un très-grand nombre de cassures des schistes, et par quelques affleurements minéralisés. Dans les travaux souterrains, qui s'étendent à diverses hauteurs depuis le *Bosviel* jusque bien au delà de l'ancienne *Picadière*, on a exploré ou exploité plusieurs filons appartenant à ce système : on a pu constater leur irrégularité pour la puissance, le remplissage, la richesse en minerai, la teneur de la galène en argent, et en même temps la constance la plus remarquable dans la direction, dans la plongée et dans l'aspect général de chacune des veines.

Toutes ces veines plongent vers le nord, les unes sous un angle de 75 à 80°, les autres sous un angle de 60 à 65° : les premières sont nommées *veines verticales*, les autres *veines couchées*. Elles sont généralement groupées de la manière suivante : deux veines verticales peu distantes, tantôt se rapprochant jusqu'à se réunir en une seule, tantôt s'écartant jusqu'à la distance de 7 à 8 mètres, et une veine couchée qui se prolonge en hauteur et en profondeur au delà

du faisceau vertical, ce qui empêche de la considérer comme une simple diagonale. A la surface on voit des cassures ou des affleurements, dirigés h. 5, semblant indiquer des veines isolées; mais partout où les explorations souterraines ont été suffisamment développées on a reconnu le mode de groupement que je viens de signaler.

Le caractère général des veines h. 5 diffère beaucoup de celui des filons exploités dans la plupart des contrées métallifères. Ce sont des fentes ou des brisures des schistes qui se sont réouvertes seulement dans certaines parties, et qui ont reçu à des époques diverses des matières de remplissage avec des minerais plus ou moins riches en argent.

Dans les quartiers où les schistes sont durs et peu brisés les veines sont bien nettes, d'une puissance très-faible, tantôt remplies par le minerai et par les gangues, qui ne pénètrent pas dans la roche encaissante, tantôt presque vides, présentant des géodes tapissées de cristaux, tantôt complétement vides, réduites alors à l'état de cassures dont les parois ne montrent aucun indice de frottement; les angles des schistes sont encore parfaitement vifs.

Dans les parties où les schistes ont présenté moins de résistance, le caractère des veines est tout à fait différent : quelquefois on ne voit plus de cassure aussi franche, mais bien une série de veinules et de fissures, dans lesquelles le minerai et les gangues ont pénétré, et qui n'ont aucune limite bien nette, mais dont l'ensemble conserve rigoureusement la direction h. 5 et la plongée vers le nord. Dans d'autres cas les fissures représentant les veines, vides ou remplies, sont bien nettes encore, mais le terrain schisteux est brisé et fissuré au toit, qui possède alors les caractères que je viens de décrire, des veinules et des brisures remplies par les gangues et les minerais, s'étendant sur une largeur indéterminée, souvent assez grande, et constituant la partie la plus riche des veines.

Dans les parties du terrain dans lesquelles les mica-

schistes sont relativement tendres et fissiles, et se rapprochent un peu des schistes ardoisiers, les veines h. 5 sont divisées en veinules assez suivies, écartées souvent de plus de 1 mètre les unes des autres; le minerai et les gangues ont passé sous forme de plaquettes très-minces dans toutes les fissures des schistes.

Dans le voisinage des croiseurs les réouvertures des veines sont bien plus fréquentes que dans les autres parties du terrain ; c'est là surtout que le minerai riche en argent se présente en masses considérables, tantôt dans les veines elles-mêmes, tantôt dans les brisures de la roche encaissante, et presque toujours au toit des veines h. 5 ; le minerai passe alors dans les croiseurs, sans être coupé, tandis que les veines h. 5 sont coupées nettement et rejetées.

Enfin, toutes les fois que les filons de ce système sont un peu nettement marqués, ce qui se présente dans les schistes d'une dureté moyenne, la veine principale est accompagnée de nombreuses veinules, détachées au toit et au mur, et le maximum de richesse se trouve généralement à la réunion de ces veinules latérales avec les veines principales.

L'irrégularité est encore plus grande dans les veines couchées, les cassures sont plus irrégulières, et le minerai passe dans les lits des schistes, formant de fausses veinules, qui n'ont aucune continuité, mais qui forcent à donner aux *kasths*, c'est-à-dire aux chantiers d'abatage, une largeur souvent considérable.

Cette allure complexe des veines h. 5 introduit de très-grandes difficultés dans les travaux de recherche et dans l'exploitation; je ne citerai qu'un seul exemple de ces difficultés : par une traverse normale à la direction h. 5, on coupe plusieurs veines de ce système; elles sont très-minces, $0^m,02$ à $0^m,05$, un peu minéralisées; la galène qu'elles contiennent est d'une faible teneur en argent; on se demande s'il convient d'explorer ces veines, ou s'il faut les laisser de côté. A l'endroit où elles sont rencontrées par

la traverse elles sont certainement inexploitables, mais à une certaine distance en direction, en hauteur ou en profondeur, elles peuvent être beaucoup plus puissantes, il peut y avoir eu, surtout près des croiseurs, des réouvertures ayant donné passage à du minerai riche en argent.

Cette possibilité porte à faire l'exploration très-suivie de toutes ces veines, et à donner aux travaux presque stériles un développement que ne comporte pas la richesse de la mine; d'un autre côté, si on néglige toutes ces veines, on perd toute espérance de trouver les parties riches que contiennent presque certainement plusieurs d'entre elles. On est donc forcé de limiter le nombre des recherches, et pour se guider dans le choix des veines qu'il convient d'explorer, il faut avoir la connaissance parfaite de l'allure ordinaire de ces filons, et en même temps des caractères des schistes dans les parties que les veines doivent traverser.

Il est impossible d'indiquer la puissance approchée des veines h. 5, même de celles qui ont été exploitées sur une très-grande étendue; elle est ordinairement très-faible dans les parties pauvres, tandis que dans les parties riches on reconnaît rarement des épontes bien nettes; d'un côté, au moins, le minerai passe dans les schistes, ou bien le filon se compose d'une série de veines et de veinules plus ou moins écartées. La largeur sur laquelle il faut abattre le rocher dans les kasths, pour ne pas perdre du minerai, est ordinairement de $1^m,20$ à $1^m,50$; quelquefois de 2 à 3 mètres; mais cette largeur n'est pas en relation avec la puissance véritable des veines elles-mêmes.

Les affleurements h. 5 sont très-nombreux, ainsi qu'on peut le voir en jetant un coup d'œil sur la carte; ce sont, au moins pour la plupart, de simples cassures sans épaisseur ou bien des veinules ayant au plus quelques centimètres de puissance, remplies par du carbonate de chaux, du quartz et de la galène. En quelques points seulement, les affleurements stériles présentent une certaine puis-

sance et des gangues ferrugineuses d'un aspect favorable.

Je vais maintenant présenter quelques détails sur les veines exploitées et sur celles dont l'exploration doit être faite dans un avenir très-rapproché. Je considère ces veines dans l'ordre dans lequel elles se présentent en allant du nord vers le sud.

Veines Arnal. — Les premières veines au nord, nommées les *veines Arnal*, ne sont connues que par leurs affleurements dans le ravin de la Picadière, sur la montagne du Bosviel et dans le ravin des Chauffès, à l'est du Bosviel. Dans cette partie de la concession, les affleurements contiennent quelques mouches de minerai. Du côté de la Picadière, les veines présentent une puissance de $0^m,03$ à $0^m,05$, avec du quartz et un peu de galène riche en argent; d'après leur position, les veines doivent passer près de la maison Arnal, sur la rive gauche du ruisseau; on les retrouve à l'est dans les rochers qui forment les escarpements de la montagne sur la rive droite du torrent de l'usine; de ce côté on ne voit que des fentes non remplies. Ces caractères paraissent assez favorables pour qu'on explore les veines à trois niveaux, à la surface, par le premier étage et par la galerie du Martinet; ces travaux n'ont pas encore atteint le filon cherché.

Veines du point O. — A une petite distance au nord de l'entrée du vieux percement on a trouvé l'affleurement très-bien minéralisé d'une veine h. 5, en un point très-remarquable par le nombre des filons et de failles de systèmes différents, qui s'y coupent sur une longueur de quelques mètres à peine. La veine doit avoir été rencontrée par le percement du Colombert, mais elle n'est pas indiquée sur les anciens plans, et les parois de la galerie sont maintenant couvertes de boue; il faudrait élargir le percement, afin de mettre le rocher à nu sur l'une des parois, pour vérifier les caractères présentés en ce point par la veine h. 5.

A l'ouest, on voit à la surface un affleurement bien marqué, dans la position que doit occuper cette veine, et on peu

e suivre à une certaine distance dans les ravins de l'ancienne Picadière. De ce côté, le filon paraît avoir une puissance de $0^m,25$ à $0^m,35$; il contient à l'affleurement du quartz carié, un peu ferrugineux et zincifère, tandis que sur la montagne du Colombert on ne voit, pour représenter la veine, que des cassures bien nettes et dirigées h. 5, mais sans aucune épaisseur.

A l'est du point O, les débris de schistes qui recouvrent la montagne empêchent de suivre l'affleurement, mais on a fait quelques travaux souterrains dont un seul, jusqu'à présent, a donné des résultats favorables. Ils ont été faits au niveau du *percement O* et au *deuxième étage* par la galerie dans le *Bosviel*. Au niveau supérieur, on a poussé une traverse vers le nord, à une petite distance de l'entrée des anciens travaux; elle a coupé, à la position que devait occuper le filon d'après l'affleurement, trois veinules dirigées h. 5, plongeant au nord, distantes l'une de l'autre de 1 mètre environ, d'une épaisseur inférieure à $0^m,01$, et contenant un peu de galène. L'une d'elles est riche en argent; le minerai a rendu à l'essai du plomb contenant 700 grammes d'argent aux 100 kil., tandis que pour les deux autres la galène est à peine argentifère, 20 grammes aux 100 kil. de plomb.

Ces veinules, explorées en direction, n'ont pas présenté de continuité, et leur exploration a été promptement abandonnée.

Au niveau du deuxième étage, on a recherché ces veines par une traverse vers le sud, et on les a coupées dans la position indiquée par les affleurements; elles sont un peu plus puissantes qu'au niveau supérieur, et contiennent un peu plus de minerai, dont la teneur dépasse 500 grammes d'argent aux 100 kil. de plomb.

Ce filon est donc remarquable par sa continuité, par la richesse de l'affleurement au point où il a été d'abord observé, et cependant il est à peine exploitable, au moins dans tout le quartier oriental de la mine; il sert d'exemple

des difficultés spéciales que présentent les mines de Vialas, et montre combien il faut apporter de prudence dans les observations des affleurements.

Là où le filon a été observé très-riche, le terrain, cassé dans tous les sens par la rencontre d'un grand nombre de veines différentes, a présenté des facilités exceptionnelles aux réouvertures par lesquelles le minerai riche est certainement arrivé : la puissance du minerai en ce point tout spécial n'était donc pas une preuve de la richesse du filon lui-même, et le résultat défavorable obtenu dans les travaux souterrains est venu démontrer qu'on a eu raison de ne pas donner aux travaux de recherches un grand développement.

Il reste encore à faire l'exploration du filon dans les parties où le terrain paraît s'être réouvert avec le plus de facilité, principalement du côté de la *Picadière*. Cette reconnaissance sera faite par la grande galerie à travers bancs, dite *traverse du bloc*, commencée au premier étage et à l'ouest; elle est dirigée vers le nord et doit être poussée jusqu'à la veine *Arnal*.

Percement du Colombert. — Les veines coupées par le percement du *Colombert* ont été presque toutes explorées ou exploitées en direction et en hauteur, et je peux présenter sur leur allure beaucoup plus de détails que sur les précédentes. Je m'efforcerai de limiter mes explications à ce qui est strictement nécessaire pour faire connaître leurs caractères principaux; je ferai observer que la plupart de ces veines ont été mises en exploitation à des époques différentes, dans des quartiers séparés les uns des autres, à la *Picadière*, au mur du *Bois-de-Petit*, dans la montagne du *Colombert*, au mur du *Bosviel*; dans ces dernières années seulement, on est parvenu à établir approximativement la correspondance des veines principales de ces divers quartiers.

Première veine. — La première veine coupée par le per-

cement est considérée comme stérile; elle n'a été explorée que par une galerie d'une vingtaine de mètres vers l'ouest; elle présente une fente, ou cassure bien nette, non remplie, avec un brouillage des schistes au toit. Les fissures du brouillage sont remplies par du quartz, du carbonate de chaux, un peu de pyrite altérée; de distance en distance on a rencontré des mouches et des veines de galène argentifère. On n'a fait aucune recherche vers l'est.

A l'ouest, la même veine a été reconnue par les traverses dirigées vers le nord au premier étage et par le percement de *la Picadière*. Dans la traverse *Espérance*, au mur et à une faible distance du *Bois-de-Petit*, la veine s'est montrée presque stérile et n'a pas paru mériter une exploration un peu suivie. Dans la quartier de la Picadière, elle a dû être plus minéralisée, car les anciens exploitants ont fait de ce côté des travaux d'abatage. On l'a exploitée dans ces dernières années par la traverse du Bloc, au premier étage; on y abat même encore un peu de minerai au deuxième étage. La veine est peu puissante, de $0^m,05$ à $0^m,15$, et ne donne pas du minerai assez riche pour payer les frais d'exploitation.

Veine de l'Espérance. — Filon A. — Ce groupe se compose de trois veines principales, une veine inclinée et deux veines verticales : elles sont écartées de 8 à 10 mètres l'une de l'autre au Colombert. Celle qui a été rencontrée la première par le percement est la veine inclinée : on l'a explorée à l'est et à l'ouest par la galerie de l'Espérance, qui a été poussée sur une certaine longueur à l'intersection de la veine h. 5 avec un croiseur pyriteux, plongeant vers le sud, dont la direction est h. 4.

A l'est, les travaux faits anciennement sont en partie éboulés, et l'exploitation ne paraît pas avoir donné beaucoup de minerai. A l'ouest, la galerie, dite de l'*Espérance*, est poussée jusqu'au filon du sud, mais elle est sur presque toute sa longueur en dehors de la veine h. 5.

On l'a retrouvée dans plusieurs travaux, dans la traverse

des trois postes, à très-peu de distance au sud de la galerie de l'*Espérance*, au *Bois-de-Petit*. On l'a exploitée sur une certaine étendue au mur de ce dernier croiseur, pour la partie comprise entre les deux veines verticales. On a dû également l'exploiter, à la fin du siècle dernier, à la *Picadière*, mais on vient seulement de rentrer dans ces vieux travaux, et les anciens documents ne permettent pas de connaître quels caractères et quel degré de richesse la veine a présenté dans ce quartier.

Au Colombert, la veine est inclinée de 65 à 70 degrés; sa puissance est assez variable, inférieure à $0^{m},30$; le mur est assez net. Le remplissage est formé principalement de quartz avec un peu de carbonate de chaux, de pyrite et de blende; la galène, médiocrement argentifère, se présente en mouches presque isolées ou en veinules très-peu suivies. dans le quartier de la Picadière, et à environ 20 mètres au-dessus du premier étage, et au puits *Villard* (au mur de *Bois-de-Petit*), la même veine est un peu plus puissante et s'est montrée assez riche en galène argentifère, mais seulement par places, et là où l'on peut reconnaître aisément, d'après l'aspect du minerai et du terrain, une réouverture postérieure au remplissage primitif.

Les deux veines verticales ont eu beaucoup plus d'importance et sont mieux connues. Au *Colombert*, elles sont toutes les deux assez mal marquées; elles sont formées de veinules un peu irrégulières, dont l'ensemble est dirigé sur l'h. 5, et plonge au nord sur un angle d'environ 80 degrés. Elles sont remplies de quartz et de carbonate de chaux; elles contiennent des mouches et des veinules de galène dont la teneur en argent varie entre 250 et 500 grammes aux 100 kilog. de plomb. Les matières de remplissage pénètrent dans la roche à une certaine distance dans les fissures des schistes, en sorte que les veines n'ont aucune limite bien précise; cependant le mur de la seconde veine est assez bien marqué en plusieurs points.

On n'a exploré que la veine située le plus au sud, en direction vers l'ouest, et à quelques mètres au-dessus du percement; le minerai ne s'est pas montré suffisamment abondant, et le travail a été promptement abandonné. On a pu constater la présence de deux variétés distinctes de galène; l'une à petites lamelles, en mouches et en nids dans les gangues, l'autre à grains fins, en veinules irrégulières coupant la gangue et le minerai lamelleux, et par conséquent d'une formation plus récente. La galène à grains fins est de beaucoup plus riche en argent; elle donne à l'essai du plomb contenant plus de 500 grammes d'argent aux 100 kil., tandis que la galène lamelleuse donne du plomb tenant environ 150 gram. aux 100 kil.

A l'est du percement du *Colombert*, on n'a exploré qu'une seule de ces deux veines: elle présente encore à peu près les mêmes caractères, mais elle ne contient que très-peu de minerai. On l'a reconnue à l'affleurement, auprès de l'entrée du *percement N*, dans le ravin des *Combes*, et au deuxième étage, au mur du *troisième croiseur*, par la traverse nord Villemereux; à la surface on n'a vu que des mouches de minerai; au deuxième étage, on a rencontré des veinules de galène qui porteront peut-être à faire plus tard une exploration plus suivie.

Auprès du *Bosviel*, le filon A ne peut être représenté que par le brouillage *h*. 5, qui a été exploité dernièrement au fond du puits *Belliard*, au toit d'un croiseur pyriteux h. 4. Les schistes sont brisés dans tous les sens et traversés par des veinules irrégulières sur une largeur de 3 à 4 mètres; les matières de remplissage sont les mêmes que dans le filon A au *Colombert*, et ne peut assigner de limite à la roche ainsi minéralisée. La richesse n'est pas grande lorsqu'on la compare au cube même de roches qu'il faut abattre; aussi l'exploitation n'est-elle pas poussée très-activement. On n'a pas encore constaté la relation de ce brouillage, dirigé sur l'h. 5 et plongeant au nord, avec les autres veines

n. 5, qui sont connues dans le même quartier. C'est seulement d'après l'aspect du minerai que je présume qu'il représente le prolongement du filon A, probablement rejeté vers le sud par un glissement de terrain inexploré jusqu'à présent.

A l'ouest du *Colombert*, les deux veines du filon A, écartées de 8 à 10 mètres, se soutiennent avec les mêmes caractères; elles ont été recoupées par la traverse des *trois postes*, dirigée à peu près nord-sud, et percée à une centaine de mètres du Colombert; on explore la seconde veine, celle qui est le plus au sud, en avançant à l'ouest vers le *Bois-de-Petit*. La veine devient peut-être un peu plus riche, c'est-à-dire que les veinules de galène à grains fins, plus argentifère et plus récente que le remplissage primitif, semblent être plus nombreuses et plus puissantes à mesure que l'exploration s'élève au-dessus du premier étage.

Dans la galerie, déjà très-ancienne, qui existe dans le *Bois-de-Petit*, on distingue assez nettement au toit du croiseur les brouillages minéralisés qui répondent aux deux veines du filon A; leurs caractères et leur distance sont bien les mêmes qu'à la traverse des *trois postes* et au percement du *Colombert*.

Au mur du *Bois-de-Petit*, on retrouve les veines rejetées d'environ 8 mètres vers le sud; toutes les deux ont été exploitées à diverses époques, soit par les percements de la *Picadière*, *Montandon*, etc.; soit par le *premier étage* jusqu'à une grande distance vers l'ouest. La veine du nord a été bien moins suivie que celle du sud, dans laquelle on a enlevé des quantités énormes de minerais très-riches en argent.

D'après les documents relatifs à *la Picadière* et d'après ce que j'ai pu voir encore moi-même depuis 1856, aux kasths *Sainte-Barbe*, *parallèles*, etc., les caractères généraux des veines ont toujours offert une grande analogie avec ceux que j'ai indiqués tout à l'heure, avec cette diffé-

rence que les veines de galène argentifère ont présenté une puissance beaucoup plus grande et une continuité remarquable. On a enlevé depuis 1856 le minerai laissé dans la veine du sud, entre les premier et deuxième étages, depuis le mur du *Bois-de-Petit* jusqu'aux vieux travaux de *la Picadière*. Là encore le minerai riche en argent s'est présenté en veines ou en veinules, plus ou moins régulières et continues, traversant les schistes en place ou les schistes brouillés dont les fissures étaient remplies des gangues, quartz, carbonate de chaux, carbonate de fer, tenant des mouches ou des noyaux de blende, de pyrite et de galène relativement pauvre en argent. Les veines et veinules argentifères ont été moins puissantes et moins régulières qu'aux niveaux supérieurs, et l'exploitation n'a pas donné de grands bénéfices.

Il reste encore des minerais à prendre au-dessous du niveau du deuxième étage, mais les explorations qui ont été faites au troisième étage et au niveau intermédiaire n'ont fait reconnaître que des veines trop peu minéralisées pour être exploitables avec avantage, et les travaux commencés par les puits *Sainte-Barbe* ont été provisoirement arrêtés.

On ne doit pas s'étonner que les veines présentent en profondeur, aussi bien qu'en direction, des variations considérables, surtout quand la véritable richesse provient, comme cela est bien évident dans le cas actuel, de réouvertures des veines, postérieures, non pas seulement aux fentes, mais encore au remplissage primitif. En outre, dans le quartier de la mine dont je parle maintenant, au mur du *Bois-de-Petit* et à une vingtaine de mètres au-dessous du *deuxième étage*, se trouve un banc puissant de roche micacée très-dure (nommée *Fraidronite* par M. Émilien Dumas) dans laquelle les veines sont de simples fissures, tout à fait inexploitables. Sa présence a beaucoup contribué à l'abandon des travaux inférieurs au deuxième étage; on pourra les reprendre plus tard lorsqu'on aura poussé la galerie *Chapelle* (troisième étage) jusqu'au *Bois-de-Petit*.

Veines des Trois-Postes. — *Veines du Chat.* — Ces veines peuvent être considérées comme ne formant qu'un seul filon; cependant les premières, bien que peu exploitées jusqu'à présent, présentent quelques caractères particuliers, et je crois devoir les décrire séparément.

Les veines des *Trois-Postes* sont à environ 20 mètres au sud du filon A; on les connaît au *Colombert*, à l'ouest au *Bois-de-Petit*, à l'est au *troisième croiseur* et au *deuxième croiseur*, mais seulement au premier étage et aux niveaux supérieurs; on ne les a pas explorées au deuxième étage. Dans tous les points que je viens de citer, on a trouvé deux veines peu puissantes, assez mal encaissées et généralement pauvres; elles sont accompagnées de veinules plus ou moins continues au toit et au mur; l'écartement moyen est très-faible, de 1 à 2 mètres. Dans les points où les veinules extrêmes sont le plus écartées, on ne compte pas plus de 3 mètres. Leur direction est assez régulièrement l'h. 5; elles plongent au nord sous un angle de 75 à 80 degrés.

Leur remplissage est assez variable; ainsi, à l'est près du deuxième croiseur, elles contiennent du quartz, du carbonate de chaux et du sulfate de baryte, avec des veinules de galène lamelleuse, rendant à l'essai du plomb dont la teneur en argent varie de 250 à 460 grammes. Au *Colombert*, les veines des *Trois-Postes* sont représentées par de simples cassures ayant seulement $0^m,01$ à $0^m,03$ d'épaisseur; un peu plus à l'ouest, la puissance est plus grande, les veines contiennent du quartz et du carbonate de chaux, dans lesquels la galène grenue, mélangée de quartz cristallin, et riche en argent, forme des veinules assez importantes. C'est en ce point que les veines ont été coupées pour la première fois, et leur aspect a fait concevoir des espérances qu'une exploration plus suivie n'a pas réalisées. Plus près du *Bois-de-Petit*, les veines ne contiennent plus que du carbonate de chaux. Au delà du *Bois-de-Petit* et à l'ouest, elles ne sont plus représentées que par de simples fissures.

Au niveau du *percement neuf*, on vient de les retrouver au toit du *troisième croiseur*, avec une faible puissance, mais tenant de la galène grenue et riche en argent. Pour elles, comme pour les veines du filon A, le remplissage primitif ne contient que peu de galène, relativement peu argentifère; elles sont riches seulement près des croiseurs : leur enrichissement est évidemment dû à des réouvertures, et celles-ci n'ont pas eu la même importance que celles du filon A.

Les veines du *Chat* sont connues depuis très-longtemps et ont fourni beaucoup de très-bon minerai. Le groupe, écarté d'environ 8 mètres de celui des *Trois-Postes*, se compose de trois veines, deux presque verticales, une plus inclinée; mais cette dernière est peu connue. Au premier étage, elle a été rencontrée par le percement du Colombert dans le groupe des veines verticales du filon A.

Les veines du *Chat* se sont montrées riches en minerai depuis le *Bosviel* jusqu'au *quatrième croiseur*, et au contraire très-pauvres depuis ce dernier croiseur jusqu'à *la Picadière*.

Au *quatrième croiseur* et au *Bois-de-Petit*, les deux veines verticales, écartées de 1 à 2 mètres, sont très-nettement marquées, mais peu puissantes; ce sont des veinules de $0^m,02$ à $0^m,10$, remplies par une gangue principalement quartzeuse, contenant de la galène qui rend à l'essai du plomb à une teneur médiocre, moins de 350 gram. d'argent aux 100 kil. Au deuxième étage et dans le même quartier, les veines sont plus puissantes, mais presque entièrement remplies de carbonate de chaux à grandes lamelles et d'un blanc laiteux.

A l'ouest du *Bois-de-Petit*, les veines du *Chat* ont été coupées par plusieurs traverses dirigées vers les *Combes*, au premier étage ou à des niveaux supérieurs; elles paraissent se continuer jusqu'au *filon du sud* avec les mêmes caractères peu favorables; elles sont peu puissantes et ne contiennent que peu de minerai, dont la richesse en argent n'est pas élevée. Je dois observer que dans les points où ces

traverses ont coupé les veines, le terrain schisteux est fort dur ; on peut encore espérer que dans certaines parties du quartier de *la Picadière*, les veines du *Chat* seront exploitables là où les schistes, plus tendres ou plus brisés, auront cédé plus facilement à des réouvertures. Cette espérance est justifiée par les caractères de ces mêmes veines à l'est du *quatrième croiseur*.

Au *Colombert*, et depuis le premier étage jusqu'au niveau du *percement neuf*, on a exploité sur une certaine étendue tantôt l'une, tantôt l'autre des deux veines verticales ainsi que la veine inclinée. Chacune des veines a une cassure très-nette, presque toujours peu puissante, de $0^m,05$ à $0^m,25$, entièrement remplie de quartz, de carbonate de chaux et de galène, ou bien seulement tapissée de cristaux, accompagnée de veinules secondaires ou d'un brouillage dans les schistes, dont les fissures sont remplies de gangues ou de minerai. Ces brouillages diffèrent beaucoup de ceux qui constituent le filon *A*; ils suivent les veines elles-mêmes dont ils ne s'écartent jamais; ils ont été formés bien évidemment par des brisures du toit des veines.

Le minerai est peu abondant et d'une richesse en argent assez médiocre dans toutes les parties où les veines ont une faible puissance. L'exploitation a donné des résultats avantageux au mur du troisième croiseur, et sur une assez grande étendue en hauteur et en direction, partout où les veines se sont trouvées être accompagnées de veinules ou de brouillages au toit. Dans ces points, la galène à grains fins, d'une teneur en argent supérieure à 500 grammes aux 100 kil. de plomb, et mélangée de quartz, a un aspect bien différent de celle qui se trouve avec la gangue quartzeuse et calcaire des veines elles-mêmes. Cette galène à grains fins traverse la gangue des veines, et par conséquent elle est venue dans ces filons postérieurement à un premier remplissage. Entre le *troisième* et le *quatrième croiseurs*, les réouvertures, auxquelles il faut attribuer l'enrichissement des veines du *Chat*,

n'ont pas une grande importance et ne sont pas très-étendues, et de là est résultée une grande irrégularité dans les travaux d'exploitation.

Au toit du *troisième croiseur* et surtout près du *deuxième croiseur* et au mur du *Bosviel*, les veines du *Chat* ont eu une importance beaucoup plus grande dans les parties supérieures au *premier étage*. Le point le plus riche a été le mur du *Bosviel;* les *kasths Villemereux* ont été montés en grande partie dans ces veines depuis le deuxième étage, et ont présenté des masses énormes de minerai riche en argent; ils deviennent de moins en moins productifs, et le minerai est bien plus pyriteux à mesure que les travaux se rapprochent de la surface. Sauf la plus grande richesse, les caractères sont toujours ceux que je viens de signaler; la seule différence entre les veines aux kasths *Villemereux* et les veines du *Chat* dans le quartier du *Colombert*, est la plus grande continuité, et le plus de largeur des réouvertures qui ont été remplies par la galène fortement argentifère.

Dans cette partie des travaux, on a pu observer de nombreux croisements des veines métallifères h. 5 par des filons plus récents, et le passage du minerai riche dans les croiseurs : je reviendrai plus loin sur ces croisements, qui fournissent des preuves évidentes de la postériorité de la galène argentifère, et démontrent qu'elle est arrivée dans des réouvertures qui se sont étendues jusque dans les croiseurs les plus récents.

Au deuxième étage, les veines du Chat sont un peu riches seulement près du *Bosviel;* elles sont inexploitables à l'ouest du *deuxième croiseur :* elles sont réduites à l'état de fentes, parfaitement continues, mais d'une très-faible épaisseur, partiellement remplies et ne contenant que très-peu de minerai; il en est de même au troisième étage. Des explorations très-étendues ont été faites à ces deux niveaux, mais elles ont été interrompues depuis plusieurs années par suite de la stérilité de ces veines.

Veines des Combes. — Le filon des *Combes*, dont on commence maintenant l'exploitation, est à environ 75 mètres au sud de la dernière veine du *Chat;* il n'est encore bien connu que sur une longueur d'environ 200 *mètres* dans le quartier du Colombert; il se compose de deux veines presque verticales et d'une veine inclinée; les deux premières s'écartent très-peu l'une de l'autre et se réunissent au point où le filon a été coupé par le percement du *Colombert;* elles sont accompagnées de veinules au toit et au mur. Du côté de l'ouest, les veines ont une puissance assez grande, de $0^m,20$ à $0^m,40$, et présentent des géodes avec de magnifiques cristaux de carbonate de chaux et de galène; vers l'est, la puissance des veines est un peu plus irrégulière, les géodes sont plus rares, mais la richesse est tout aussi grande. Partout la galène est assez intimement mélangée avec le carbonate de chaux pour que la contemporanéité des deux substances minérales soit hors de doute.

La galène est puissante principalement à la jonction des veines et des veinules; elle pénètre fréquemment dans les fissures des schistes compris entre deux veines très-rapprochées. Dans la hauteur, les veines sont moins riches qu'aux niveaux des *premiers* et des *deuxièmes étages*, et à l'affleurement, dans le ravin des Combes, on ne voit que trois fentes, presque sans épaisseur, contenant du carbonate de chaux avec un peu de galène. Dans un ancien travail fait auprès du ravin, les veines s'étaient montrées assez pauvres, et l'exploration n'avait été poussée qu'à une très-faible profondeur. La connaissance plus exacte des caractères des filons de Vialas m'a fait attacher dès le principe une très-grande importance à ces affleurements, et la richesse des filons est venue justifier le grand développement donné depuis 1856 aux travaux destinés à recouper les *Combes* dans tous les quartiers de la mine.

La galène est un peu mélangée de blende et de pyrite de fer; sa teneur en argent est un peu variable, mais toujours

très-élevée ; d'après les essais de nombreux échantillons, le plomb tient de 500 à 700 grammes d'argent aux 100 kil., et la teneur moyenne dépasse 600 grammes.

Dans le quartier du Colombert, les schistes sont fort durs et peu brisés ; dans ce terrain, les autres veines h. 5 ont été généralement très-peu puissantes et presque stériles ; il y a donc tout lieu d'espérer que près du *Bosviel*, au mur du *Bois-de-Petit* et à *la Picadière*, les veines des *Combes* seront très-puissantes, et bien minéralisées.

La veine couchée a été reconnue seulement sur une faible étendue, en direction et en hauteur ; un peu au-dessus du *premier étage*, et à l'ouest du percement du Colombert, elle présente le même remplissage et les mêmes caractères que les deux veines verticales ; la galène a la même teneur en argent. L'angle sous lequel elle est inclinée est un peu variable ; la cassure coupant assez obliquement les strates, la veine fait des coudes assez brusques, parce qu'elle suit en plusieurs points, et pendant quelques mètres, la stratification elle-même. Il convient du reste d'attendre encore pendant quelques années pour décrire plus complétement ces veines minérales.

Veines du sud. — Au sud du filon des *Combes*, dans les parties les plus élevées du ravin, on connaît encore plusieurs affleurements de veines ayant la même direction h. 5, et contenant de la galène argentifère. Aucune exploration sérieuse n'a été faite : ces veines ne seront recoupées que dans plusieurs années par le percement du Colombert, qui doit être poursuivi sans interruption vers le sud.

3° Système des croiseurs pyriteux h. 4. — N. 41° 30' E. — Les veines dirigées h. 4 sont peu nombreuses et ne contiennent pas de minerai ; elles n'ont de l'importance que par les dérangements qu'elles ont causés dans le système métallifère h. 5. Leur puissance est généralement assez faible, variable entre les limites de $0^m,25$ à $0^m,60$. Leur direction n'est pas rigoureusement h. 4 ; l'angle qu'elles forment avec

la direction des veines h. 5 est de 10 à 11 degrés seulement. Elles plongent vers le sud sous un angle de 70 à 80 degrés. Leurs épontes sont bien nettes, et leur remplissage compacte ne laisse apercevoir aucune indication de réouvertures postérieures. Elles contiennent du quartz carié, des schistes presque complétement broyés, de la pyrite et un peu de blende, presque complétement altérées même à la profondeur du deuxième étage. On a trouvé, dans le quartier de la Picadière, un peu de galène à grandes lamelles et pauvre en argent, dans une veine h. 4, auprès d'une veine du système h. 5 ; mais en général les croiseurs h. 4 sont tout à fait stériles.

La veine la mieux connue de ce système est celle qui a été coupée par le percement du Colombert, au croisement de la veine couchée du *filon A ;* on l'a suivie à l'est et à l'ouest sur une très-grande longueur, en s'en écartant par places d'un petit nombre de mètres. On la reconnaît même maintenant à l'ouest de la Picadière dans l'ancienne galerie de *l'Espérance*, à plus de 400 mètres du percement du premier étage ; on la trouve encore au deuxième étage, depuis le fond du puits *Belliard* (près du *Bosviel*) jusqu'à l'extrémité des travaux faits à l'ouest sous l'ancienne Picadière.

La ligne d'intersection de ce croiseur avec chacune des veines h. 5 est peu inclinée à l'horizon, et s'élève vers l'ouest ; cependant, dans les galeries horizontales qui ont été faites autrefois à l'intersection, on distingue la ligne de séparation des deux veines, tantôt au sol, tantôt au faîte des galeries, mais ne s'élevant que de 1 à 2 mètres en hauteur, pour une longueur de plus de 200 mètres en direction. Ce fait paraît anormal, mais il est facile de l'expliquer ; les veines h. 5 et h. 4 plongent l'une vers le nord, l'autre vers le sud, et sont rejetées en sens contraires par les failles et par les croiseurs ; de là résulte qu'à chaque croisement, et ils sont nombreux dans les mines de Vialas, la ligne

d'intersection des veines est ramenée à l'horizon de la galerie.

A la Picadière, le vieux percement a coupé trois veinules assez rapprochées, appartenant probablement au filon h. 4 dont je viens de parler, le seul qui ait été reconnu sur toute la longueur du percement du Colombert, et dans les travaux très-développés qui ont été faits dans le quartier oriental de la mine.

4° Système des croiseurs h. 8 à 9. — O. 19 à 20° N. — Les filons de ce système sont les mieux caractérisés et les plus puissants; on les voit dans toute la région schisteuse qui entoure le massif granitique, marqués par des affleurements de quartz blanc, s'élevant parfois à plus de 15 mètres au-dessus du sol, et se poursuivant sans interruption à d'énormes distances. Lorsqu'on prend leur direction successivement en plusieurs points, en considérant chaque fois une petite longueur (quelques centaines de mètres), on trouve des nombres variables entre les heures 8 et 9 de la boussole; mais pour chaque filon, pris dans son ensemble, la direction vraie s'écarte fort peu de O. 20° N. Ils plongent tous vers le S.-O. sur un angle peu variable, de 75 à 80°.

A Vialas, le système est représenté par deux énormes filons, qui sont nommés *le grand filon du Nord* et *le grand filon du Sud*. Ils sont réunis par un nombre presque infini de veines quartzeuses, dirigées sur l'heure 9, et plongeant toutes au sud-ouest : ces veines sont évidemment les diagonales des deux grands filons. Au point de vue de l'exploitation, elles constituent un système de croiseurs, dont il faut tenir grand compte dans la direction qu'il convient d'imprimer aux travaux d'abatage et d'exploitation. Je crois donc devoir distinguer ici les deux grands filons, et les croiseurs h. 9.

Grand filon du Nord. — La position, et la division en plusieurs veines de ce grand filon quartzeux, sont suffisamment indiquées sur la carte. A l'ouest, on retrouve ses affleurements à plus de 3 kilomètres de l'usine; à l'est on distingue

les crêtes des nombreuses veines qui le composent, dans les ravins et sur les montagnes, à une distance de plusieurs kilomètres.

Son caractère spécial est la division en veines nombreuses très-puissantes, qui tantôt sont écartées de 40 à 50 mètres les unes des autres, tantôt se rapprochent pour former un filon de 7 à 8 mètres d'épaisseur. Le remplissage est le quartz blanc laiteux, empâtant quelques fragments de schistes, très-dur et en même temps très-cassant; il contient, en un très-petit nombre de points, un peu de pyrites, de blende et de galène pauvre en argent, disséminées en mouches dans le quartz, ou formant des veinules peu continues. Dans le lit du *Luech*, que le filon du Nord suit sur une assez longue distance, depuis la prise d'eau jusqu'à l'usine, les crêtes quartzeuses ont été probablement détruites par le choc des blocs énormes que roule le torrent dans la saison des pluies. Sur le Bosviel on les voit s'élever à plusieurs mètres au-dessus du sol, mais elles ne présentent pas l'aspect gigantesque et saisissant des filons quartzeux des autres parties de la contrée, par exemple de ceux de *Villefort* (Lozère), et de ceux du *Rouvergne* (Gard).

Grand filon du Sud. — Le *grand filon du Sud* est éloigné d'environ 1.500 mètres du précédent; comme lui, il est divisé en plusieurs veines très-puissantes et il est presque exclusivement quartzeux. Il y a cependant quelque différence entre les deux filons : dans celui du Sud, le quartz a empâté une proportion plus forte de fragments schisteux, et il est en certains points assez minéralisé pour qu'on ait commencé des explorations.

A l'est, son affleurement quartzeux domine la crête du Bosviel, et de ce point on le voit se continuer à une grande distance dans la direction du *Chambon* (Gard). Sur la montagne du Colombert, ses affleurements sont en grande partie cachés par les débris des terrains et par la végétation; ils s'élèvent très-peu au-dessus du sol. Au col de *Castagnols*,

le filon n'a qu'une seule veine, de plus de 15 mètres de puissance, remplie principalement par du quartz et contenant, en outre, une quantité notable de pyrite et de blende, complétement altérées.

Le filon conserve ses caractères sur une longueur de plusieurs kilomètres vers l'ouest; au fond de la vallée du *Clot*, l'affleurement présente une proportion beaucoup plus grande de pyrite altérée; il contient en outre des veinules assez suivies de galène lamelleuse. En ce point on a fait quelques travaux, mais on les a promptement abandonnés par suite de la faible teneur en argent du minerai. Le même affleurement se retrouve encore très-puissant, et s'élevant au-dessus du sol, au *Villaret*, au *Massufret*, auprès du village de Saint-Maurice. Il se continue certainement encore beaucoup plus loin vers l'ouest, mais il n'a pas été recherché. Aux deux derniers points que je viens de citer, on a fait, à diverses époques, quelques travaux d'exploration, et le filon présente des caractères particuliers.

Au *Villaret*, le *filon du Sud* n'a qu'une seule veine très-puissante remplie de quartz et de sulfate de baryte; ces deux matières minérales ne sont pas mélangées, mais elles forment des veines juxtaposées, et il est facile de reconnaître que le sulfate de baryte a été introduit par un filon puissant du système h. 6. Le sulfate de baryte n'est pas coupé et passe sans discontinuité de l'un dans l'autre filon, preuve bien évidente que le remplissage barytique est postérieur à l'arrivée du quartz dans le filon du Sud.

Le quartz contient, comme au col de Castagnols, de la pyrite et de la blende altérées, un peu de galène lamelleuse pauvre en argent; de plus, de nombreuses fissures dans le sulfate de baryte et dans le quartz sont remplies par de la galène à très-petites lamelles, et par de la galène à grains fins; l'abondance du minerai a déterminé des travaux de recherche que la faible teneur en argent (80 grammes aux 100 kil. de plomb) a promptement fait délaisser.

Les caractères des affleurements me font considérer la vallée du *Villaret* comme un des points les plus favorables de la concession de Vialas; on trouvera certainement dans ce quartier de la galène très-argentifère, remplissant, comme à la Picadière, comme au Bosviel, etc., des réouvertures bien postérieures à l'arrivée de la galène pauvre qui se trouve à l'affleurement. Des travaux sérieux n'ont pas encore été commencés; mais cela tient à des considérations économiques; il faudrait créer au Villaret, déjà fort éloigné de Vialas, tout un centre d'exploitation, ce qui exigerait des sommes considérables, et un personnel d'ouvriers qu'on ne trouverait pas aisément dans les environs (*).

Au *Massufret*, les caractères du filon du Sud sont analogues à ceux que je viens de signaler pour le *Villaret;* les veines de sulfate de baryte sont encore plus puissantes et la masse de galène beaucoup plus considérable; mais la teneur en argent est plus faible (de 50 à 60 gram. aux 100 kil. de plomb), et la distance à Vialas est plus grande.

La présence de la baryte dans les grands filons quartzeux n'est pas un fait accidentel, particulier au *Massufret* et au *Villaret;* on l'observe dans un grand nombre de localités et dans des filons différents, appartenant au même système, à *Bluech*, à *Villefort*, auprès de *Florac*, dans les montagnes schisteuses des *Rouvergne*, etc. Partout où la baryte a été signalée, il est facile de reconnaître qu'elle a été amenée par des filons h. 6, plus ou moins puissants et entièrement barytiques.

Croiseurs h. 9.— Les nombreuses veines h. 9, reconnues à la surface, ou rencontrées par les travaux souterrains à Vialas, présentent une constance très-remarquable pour leur

(*) C'est du reste la même raison qui a empêché jusqu'à présent de reprendre les travaux à Villefort, car là aussi se trouvent certainement des richesses minérales considérables, dont on pourrait tirer un parti très-avantageux, maintenant que les caractères des filons sont bien connus.

direction et pour leur plongée vers le sud-ouest; l'angle d'inclinaison est seul un peu variable; il est généralement compris entre 70 et 80 degrés.

La puissance et la continuité de ces veines n'offrent pas la même régularité: tantôt on distingue seulement des traînées de quartz dans les schistes un peu brisés; tantôt les cassures sont parfaitement nettes et se prolongent sans aucune interruption sur plusieurs centaines de mètres. La puissance du quartz est quelquefois de $0^m,20$ à $0^m,50$, et ces veines sont alors assez espacées les unes des autres; d'autres fois, au contraire, l'épaisseur des veines se réduit à quelques centimètres; et dans ce cas on voit souvent plusieurs de ces veinules très-rapprochées.

Ces veines présentent en plusieurs points des réouvertures analogues à celles des grands filons quartzeux; ainsi, dans le quartier du Bosviel, on voit à la surface la baryte passer sans interruption d'une veine h. 6 dans un croiseur h. 9; ainsi encore, dans le même quartier, au bout du vieux travail fait au *Trou-du-Loup*, on a trouvé la galène argentifère passant, sans être coupée, de deux veines h. 5 au toit d'un croiseur h. 9, et se prolonger sur une quarantaine de mètres, plaquée sur le quartz, jusqu'au *deuxième croiseur*, dans lequel elle passe également.

Presque partout les veines h. 9 sont entièrement stériles; on n'a trouvé un peu de minerai que dans les veinules quartzeuses qui traversent le *Luech*, auprès de la prise d'eau de l'usine; la galène, accompagnée de blende et de pyrite de fer, est peu abondante, et de plus faiblement argentifère; elle contient seulement 80 grammes d'argent aux 100 kil. de plomb.

5° CROISEURS H. 1. — S. 3° 30′ E. — Les filons dirigés à peu près sur l'h. 1, ou presque N.-S. vrai, sont très-nombreux dans tout le terrain schisteux, et particulièrement à Vialas; plusieurs d'entre eux ont été assez bien étudiés, parce qu'on les a suivis à plusieurs niveaux pour rejoindre

le filon des *Combes*. Les deux plus importants sont le *premier* et le *deuxième croiseurs*, qui se trouvent placés, au premier étage, à peu près à égale distance du *Bosviel* et du *troisième croiseur*. Ils sont presque verticaux; ils plongent l'un vers l'est, l'autre vers l'ouest, sous un angle de 85 degrés environ. Leurs parois sont très-nettes, et ces croiseurs ne paraissent pas être accompagnés de veines secondaires; leur puissance est assez variable, mais presque toujours assez grande, de $0^m,60$ à $2^m,25$. Ils sont entièrement remplis par du quartz carié, presque blanc dans certaines parties, et ferrugineux dans les parties supérieures; les épontes sont couvertes de schistes broyés, présentant une certaine analogie avec des salbandes d'argile presque noire; cette gangue est généralement d'une dureté assez faible, beaucoup moindre que celle des schistes.

Les deux croiseurs coupent très-nettement les veines h. 6 à 7, h. 5, h. 4 et h. 9; ces croisements ont été observés en plusieurs points; les veines coupées sont rejetées sur la droite ou sur la gauche, et presque toujours d'un très-petit nombre de mètres. Il est donc parfaitement certain que le système h. 1 est plus récent que ceux dont je viens de rappeler les directions; on n'a pas encore exploré de croisements des veines h. 1 avec les failles h. 11, et par suite je ne saurais affirmer lequel de ces deux systèmes est le plus ancien.

Le remplissage des croiseurs h. 1 ne renferme pas de minerai, excepté près des croisements des veines h. 5. En ces points on a vu plusieurs fois le minerai riche en argent passer, sans être coupé, de la veine h. 5 dans les croiseurs, et se prolonger dans ceux-ci jusqu'à une certaine distance, formant des veines bien nettement séparées du remplissage quartzeux ou ferrugineux des croiseurs. Le minerai véritablement pauvre des veines h. 5 ne se comporte pas de la même manière, il est coupé nettement par les croiseurs h. 1. Il en est de même du quartz de l'h. 9. Le sulfate de

baryte des veines h. 6 a été trouvé en veinules dans les croiseurs h. 1.

De là on peut tirer les conclusions suivantes, qui donnent des points de repère pour fixer les époques relatives des divers remplissages des filons ; le sulfate de baryte de l'h. 6, et le minerai riche en argent sont arrivés après la formation et après le remplissage des filons h. 1; au contraire le minerai pauvre en argent de l'h. 5, et le quartz de l'h. 9 sont plus anciens que les croiseurs dirigés h. 1.

Les autres croiseurs du même système, connus par leurs affleurements ou rencontrés dans les travaux, ont tout à fait les mêmes caractères que les deux précédents ; ils sont un peu moins puissants, et ne produisent dans les veines métalliques que de faibles dérangements ; ils sont nombreux dans le quartier de la Picadière, mais aucun d'eux ne me paraît mériter une mention spéciale.

6° Système des filons h. 3. — N. 26° 30' E. — Les filons h. 3 sont moins marqués aux affleurements que les grandes veines quartzeuses h. 8 à 9, mais ils sont tout aussi importants à étudier ; ils sont très-nombreux et présentent des caractères bien constants ; ils plongent tous vers le S.-E., sous des angles assez variables, compris en général entre 55 et 70 degrés. Les uns, et c'est le plus grand nombre, sont des fentes d'une faible épaisseur, mais quelques-uns ont jusqu'à 2 et 3 mètres de puissance, et sont divisés en plusieurs veines. Tous sont remplis par du quartz carié, ferrugineux, d'une assez grande dureté, séparé des épontes, mais seulement dans les veines un peu puissantes, par des salbandes d'argile noire d'une certaine épaisseur.

Les affleurements de ces filons sont marqués sur la carte par des lignes vertes ; les principaux, en allant de l'est à l'ouest, sont : le filon *Cortez*, le *Bosviel*, le *troisième croiseur*, le *quatrième croiseur*, le *bois de Petit* et le filon *Lorrain*.

Filon Cortez. — L'affleuremeut de ce filon se voit à l'est de la montagne du Bosviel, dans un quartier où l'on n'a fait

jusqu'à présent que des explorations insignifiantes; sa puissance est de $1^m,40$ à $1^m,50$; le remplissage paraît et a du quartz ferrugineux stérile.

Bosviel. — Ce filon peut être considéré comme le plus important de tous ceux du système h. 3 ; on peut suivre son affleurement sur plusieurs kilomètres, et des travaux d'exploitation très-importants ont été faits, à diverses époques, depuis la surface jusqu'à une très-grande profondeur, au-dessous du troisième étage actuel de la mine.

Son affleurement se distingue au nord-est du village de Vialas, dans un ravin dont la direction est à peu près celle du filon ; mais on n'a fait aucune exploration de ce côté, et c'est seulement au point de vue théorique qu'il importe de signaler l'existence du *Bosviel* au nord du torrent (le Luech). Sur le versant nord de la montagne du Bosviel, on distingue très-nettement deux branches principales du filon, coupant les nombreuses veines du *grand filon du Nord*. Le rejet est très-faible, et les branches du *Bosviel* n'ont dans le quartz qu'une épaisseur presque insignifiante. Il faut observer les crêtes quartzeuses avec une très-grande attention pour se convaincre qu'elles sont réellement coupées. En suivant les affleurements vers le sud on les voit prendre une puissance de plus en plus grande jusque sur le sommet de la montagne ; les crêtes de quartz très-ferrugineux dépassent un peu le niveau des rochers schisteux, que ce filon coupe avec une grande netteté.

Les deux veines présentent un écartement variable, ainsi qu'on peut le voir sur la carte ; leur puissance varie de $0^m,50$ à $2^m,50$. On n'en suit aisément qu'une seule jusqu'au *grand filon du sud*, lequel est coupé, et rejeté de quelques décimètres seulement. Plus loin, vers le sud, on reconnaît encore l'affleurement du *Bosviel*, mais il est moins bien caractérisé qu'entre les deux filons quartzeux. Dans les travaux souterrains on a reconnu également deux branches du filon, et de plus on a exploité du minerai, tantôt dans l'une,

tantôt dans l'autre, sur une longueur de plusieurs centaines de mètres, à partir de la dernière branche du grand *filon du nord*.

La veine du toit est la plus puissante; elle a de 1 mètre à $2^m,50$; son remplissage principal est du quartz assez dur, généralement moins chargé d'oxyde de fer que celui des affleurements. Les épontes sont bien nettes, et le toit est garni d'une salbande d'argile noirâtre très-dure, qui se détache assez facilement en grandes plaques, épaisses de $0^m,10$ à $0^m,25$; du côté du mur on n'observe pas en général de salbande bien marquée.

La veine du mur est moins puissante ; son épaisseur ne dépasse 2 mètres que dans un petit nombre de points; son remplissage est à peu près le même, et les salbandes d'argile noire ne se présentent guère qu'au toit. Toutes les deux plongent sous un angle de 60 à 65 degrés vers le sud-est.

Le système des filons h. 3 coupe les veines h. 6 à 7, h. 5, h. 4, h. 8 et 9, h. 1 ; ces croisements ont été observés dans les différents quartiers de la mine, et l'on ne peut avoir le moindre doute sur l'âge relatif du *Bosviel;* mais pour ce filon en particulier on n'a étudié que les croisements avec les veines des trois systèmes les plus anciens, à savoir h. 6 à 7, h. 5 et h. 4. Ces croisements offrent un intérêt très-grand, et je vais les décrire avec détail.

Le filon des *Anciens*, h. 6 à 7, dont le remplissage est complexe, est coupé très-nettement ; on ne connaît pas le rejet parce que le toit du *Bosviel* n'a pas encore été mis en exploration. La gangue quartzeuse minéralisée, et le sulfate de baryte sans minerai, passent sans aucune discontinuité du filon des *Anciens* dans la veine du mur du *Bosviel*, et forment dans le croiseur des zones spéciales, plaquées contre le mur de la veine, et se continuant vers le *nord* à une distance assez variable, de 15 à 45 mètres, à partir du point de croisement. Dans le corps même de la veine du mur du croiseur, et dans la veine du toit, on a

trouvé dans les mêmes parages des zones presque lenticulaires, formées des mêmes matières, bien différentes et bien nettement séparées du remplissage quartzeux du *Bosviel* lui-même.

Les croisements avec les veines h. 5 présentent des faits aussi curieux et tout à fait analogues. Je citerai en particulier ceux qui ont été observés dans l'exploitation des kasths Villemereux, depuis le deuxième étage jusqu'à la surface, c'est-à-dire sur une hauteur de plus de 130 mètres. La veine h. 5 est nettement arrêtée par le croiseur, mais à des distances presque régulières en hauteur, à peu près de 15 en 15 mètres, le minerai remplit en grande partie les brisures des schistes, dans l'angle obtus du croisement, et passe sans être coupé dans le croiseur. Il forme au mur une plaque plus ou moins puissante, de $0^m,05$ à $0^m,35$ en général, qui s'avance vers le nord à une distance variable, jusqu'à 40 mètres du point de croisement. Dans l'intérieur du croiseur et dans les deux branches du toit et du mur, on trouve également des zones lenticulaires, souvent fort puissantes et fort étendues, du même minerai, accompagné des mêmes gangues.

C'est la même disposition que pour la baryte et pour le quartz minéralisé des *Anciens;* d'ailleurs pour le croisement de ce dernier filon le passage du sulfate du baryte dans le croiseur n'a pas lieu sur toute la hauteur, mais seulement à certains intervalles, et pour ainsi dire périodiquement. En suivant l'exploitation des kasths Villemereux à des époques différentes, on a vu tantôt le minerai de l'h. 5 s'arrêter nettement au croiseur stérile, et tantôt le minerai passer au toit de l'h. 5, et tourner sans discontinuité dans le croiseur, alors exploitable avec bénéfices sur une étendue variable en hauteur et en direction.

Les mêmes faits se présentent avec plus ou moins de développement pour toutes les veines h. 5, et il est même bien démontré actuellement que la richesse du croiseur

n'est pas en rapport avec la puissance minérale des veines h. 5, par lesquelles la galène argentifère a été introduite dans le *Bosviel.*

Ces faits intéressants, dont on n'a pu avoir l'explication qu'à la suite de travaux continués pendant de longues années, démontrent :

1° Que le *Bosviel* a été rempli une première fois par du quartz ferrugineux, ne contenant pas de galène argentifère ;

2° Que le quartz minéralisé, le sulfate de baryte du filon des *Anciens* et le minerai riche des veines h. 5 sont arrivés postérieurement à ce premier remplissage du *Bosviel*, et probablement à des époques différentes ;

3° Que le *Bosviel* doit être considéré comme un croiseur, et non pas comme un filon métallifère. Il ne doit le minerai qu'il renferme qu'à des réouvertures successives, dans lesquelles ont pénétré les matières stériles, ou riches en plomb et en argent, qui ont elles-mêmes rempli des réouvertures des veines très-anciennes h. 6 à 7 et h. 5, et les brisures des schistes produites au toit de ces dernières veines.

Les veines h. 5 sont très-nombreuses au mur du *Bosviel*, et c'est à ce fait qu'il convient d'attribuer l'étendue considérable que le minerai s'est trouvé occuper dans le croiseur. Ainsi au troisième étage, la galerie *Chapelle* a plus de 500 mètres dans le *Bosviel*, et sur toute cette longueur on a pu exploiter, de distance en distance, des colonnes assez riches de galène argentifère. Dans la hauteur l'ancienne exploitation des grands kasths a donné du minerai sur plus de 200 mètres en direction. Plus près de l'affleurement on n'a exploré que la partie du *Bosviel* la plus voisine de la veine des kasths Villemereux ; à aucun étage on n'a fait l'exploration du croiseur près des veines des *Combes.*

Troisième croiseur. — Ce filon est distant de 200 mètres environ du *Bosviel*, et lui est presque rigoureusement parallèle en direction et en inclinaison. Son affleurement est connu depuis le Luech jusque bien au delà du *grand filon*

du Sud. Auprès du pont du chemin de fer établi entre les ateliers de triage et l'usine, sur le versant nord de la montagne du Bosviel, on voit le *troisième croiseur* couper l'une des branches du *grand filon du Nord*; le rejet est de plus de 2 mètres sur la droite, et présente une particularité assez curieuse : les deux parties de la veine quartzeuse pénètrent de près d'un mètre dans le croiseur, lequel se trouve ainsi contourner les deux parties de la veine quartzeuse qu'il a coupée et rejetée.

Sur le sommet de la montagne, ou plutôt du chaînon qui, partant de l'arête du Bosviel, s'avance vers l'usine, le *troisième croiseur* présente deux veines dont la puissance est de plus de 1 mètre. Le remplissage est du quartz carié, ferrugineux, analogue à celui du filon le *Bosviel;* en aucun point l'affleurement ne présente du minerai. Au-dessus du *point O*, le croiseur contient une colonne de minerai très-riche en argent, qui descend depuis l'affleurement jusqu'à la profondeur de 30 mètres environ au-dessous de la surface.

Cette colonne de minerai a été prise en grande partie, déjà depuis bien des années, par le vieux percement O; il ne reste plus en place que le chapeau du filon. Le minerai se trouve dans une position spéciale, que j'ai déjà décrite, auprès de l'intersection de plusieurs veines très différentes : sa position même dans le croiseur démontre qu'il est arrivé postérieurement au remplissage quartzeux et ferrugineux de ce filon.

L'affleurement du *troisième croiseur* est encore bien en évidence près de l'entrée du percement N, dans le ravin des Combes; on peut même encore le retrouver de distance en distance sur la montagne du Colombert et au delà du *grand filon du Sud;* mais le sol est couvert en grande partie soit par les débris des rochers, soit par la végétation, et l'on ne peut plus suivre l'affleurement d'une manière aussi continue qu'entre le *grand filon du Nord* et le ravin des Combes.

Dans les travaux souterrains le *troisième croiseur* a été coupé à tous les niveaux, et même exploré en divers points sur une assez grande longueur. Son remplissage principal est, comme aux affleurements, du quartz un peu ferrugineux, dépourvu de minerai : les épontes sont très-nettes, et dans presque toutes les parties explorées des salbandes d'argile noire, ou de schistes broyés, séparent le corps du filon de la roche encaissante.

Les croisements des veines h. 6 à 7 et h. 5 par ce filon présentent des faits analogues à ceux que j'ai signalés pour le *Bosviel;* le minerai et le remplissage de ces veines passent sans être coupés par le croiseur. Les réouvertures n'ont pas eu cependant la même importance que dans le *Bosviel;* jusqu'à présent le *troisième croiseur* n'a été véritablement riche qu'en trois points : au-dessus du percement O; au percement neuf ouest, près des veines du *Chat* et des *Trois-Postes;* au percement N, et au premier étage à la rencontre des veines des *Combes*. Je ne peux parler que des deux derniers croisements, car les travaux au percement O ont été faits plusieurs années avant mon arrivée à Vialas.

Par le percement neuf ouest, on a suivi l'une des veines verticales du filon du *Chat* jusqu'au *troisième croiseur :* la veine h. 5 s'est présentée sous un aspect assez peu favorable, peu puissante et fort irrégulièrement minéralisée : arrivant au *troisième croiseur*, on a vu le minerai passer sans discontinuité dans le filon h. 3, et former, entre le toit et le remplissage quartzeux, une zone de $0^m,15$ à $0^m,25$ d'épaisseur, s'étendant en hauteur à 15 mètres environ au-dessus du sol du percement, et en direction sur plus de 40 mètres de longueur tant au nord qu'au sud.

En exploitant cette magnifique colonne de minerai, très-riche en argent, on a été conduit au nord jusqu'au croisement des deux veines des *Trois-Postes*, et là encore le minerai ne présente aucune discontinuité entre le croiseur et les

veines h. 5 : de ce côté les schistes sont brisés dans l'angle obtus du croisement, et les brisures sont remplies de minerai. Cet exemple est le complément de celui que j'ai cité pour le *Bosviel;* pour ce dernier, le mur seul a été mis en exploration; le minerai forme des zones riches contre le mur du croiseur, tandis qu'au *troisième croiseur* on n'a encore exploré que le toit, et c'est également au toit de la veine h. 3 que se trouve le minerai argentifère. Le même fait se trouvera probablement au *Bosviel* quand on aura poussé les travaux plus à l'est, au toit de la veine principale de ce filon.

Le croisement *des Combes* par le *troisième croiseur* a été observé en deux points, au premier étage et au niveau du percement N, et dans tous les deux au toit et au mur. Le minerai a passé sans discontinuité dans le croiseur, mais sans présenter la même puissance et le même développement qu'au point dont je viens de parler. La zone minérale la plus riche paraît être celle du mur, et présenter les mêmes phénomènes de périodicité que celle du *Bosviel* le long des kasths *Villemereux.* Les travaux sont du reste encore trop peu avancés pour que j'insiste davantage sur ce sujet.

Quatrième croiseur. — Ce filon n'a pas la même importance que les deux précédents : il est beaucoup moins puissant et ne contient pas de minerai, au moins dans les parties qu'on a explorées jusqu'à présent. Il est à environ 100 mètres à l'ouest du *troisième croiseur;* sa direction est à peu près h. 3; il plonge vers le sud-est sur un angle de 70 à 75°; sa puissance est de $0^m,25$ à $0^m,30$; il est rempli par du quartz un peu ferrugineux et par des schistes broyés.

L'affleurement de ce croiseur est peu marqué, et ne peut être reconnu qu'en un très-petit nombre de points. Dans les travaux souterrains on n'a fait l'exploration du croiseur qu'au premier étage, à l'ouest du percement du Colombert, et l'on n'a pu étudier que les croisements des veines du

Chat et des *Trois-Postes*. Ces veines sont coupées très-nettement et rejetées de quelques mètres sur la gauche. Dans ce quartier les veines métallifères sont très-peu puissantes, à peine minéralisées, et ne contiennent que de la galène d'une teneur en argent peu élevée : il n'est donc pas étonnant que le croiseur ne contienne pas de minerai. Les veines h. 5 n'ont pas éprouvé de réouvertures donnant passage à de la galène très-argentifère.

L'exploration des *Combes* a récemment atteint vers l'ouest le croisement par le filon dont je m'occupe maintenant ; mais les veines h. 5 et le croiseur sont dérangés par des failles nombreuses, par des glissements de terrains ; on n'a pu faire l'étude du croisement.

BOIS-DE-PETIT. — Le *Bois-de-Petit*, presque rigoureusement parallèle au *Bosviel*, éloigné de 200 mètres environ du *troisième croiseur*, a une grande importance et une continuité remarquable. Ses affleurements peuvent être suivis très-facilement depuis le granite, à l'est du village de Vialas, jusque sur la montagne de l'*Espinas*, au sud-ouest du *grand filon du Sud*. Dans les travaux souterrains on l'a exploré sur plus de 100 mètres de longueur, au premier étage, de la galerie de l'Espérance jusqu'auprès des *Combes*.

L'affleurement dans le granite montre seulement une série de fissures, ou de veinules, dont la puissance est inférieure à $0^m,05$, et qui sont remplies par du quartz ferrugineux. Dans les schistes, sur les deux rives du Luech, la puissance est un peu plus grande et l'affleurement un peu mieux marqué, surtout au sud du *grand filon du Nord*, lequel est nettement coupé, mais n'est rejeté que de quelques décimètres. Sur le versant occidental de la montagne du Bosviel, et surtout devant l'entrée du percement du Colombert, et sur la montagne du même nom, le *Bois-de-Petit* est parfaitement marqué ; son affleurement est quartzeux et plus ferrugineux que celui du *Bosviel*, bien qu'il présente à peu près les mêmes caractères.

Vers le sud-ouest, on ne voit plus le ***Bois-de-Petit*** qu'à de longs intervalles, à cause des débris et de la végétation qui recouvrent le sol ; on le retrouve à la première branche du ***grand filon du Sud***, dans lequel il n'a produit qu'une simple fente ; on peut encore le reconnaître beaucoup plus loin vers le sud, mais il est moins puissant et moins bien caractérisé.

En aucun point l'affleurement n'a présenté de minerai, et c'est seulement par des explorations souterraines qu'on a pu constater la présence de la galène argentifère dans quelques parties du filon.

Une recherche a été faite anciennement dans le ***Bois-de-Petit***, sur la montagne du Colombert, au point où ***le croiseur*** coupe deux veines barytiques dirigées sur l'h. 6 à 7. Le travail n'a pas été poussé bien loin, et n'a rencontré que très-peu de minerai, autant du moins qu'il est permis de conjecturer d'après les déblais qui recouvrent le flanc de la montagne. L'observation intéressante que permet ce travail est le croisement des deux veines barytiques : elles sont coupées et rejetées sur la gauche, la gangue de sulfate de baryte a passé dans le croiseur. La galène que le ***Bois-de-Petit*** contient dans ce quartier ne provient certainement pas des veines barytiques, qui n'en renferment pas une seule mouche ; elle doit avoir été amenée dans le croiseur par un filon h. 5, dont l'affleurement n'est pas visible.

Au premier étage, le ***Bois-de-Petit*** a été suivi sur une assez longue distance, et l'on a pu étudier ses caractères, ainsi que les croisements d'un grand nombre de veines ; nous citerons spécialement : au nord le croisement d'une veine barytique, longtemps confondue avec le filon des ***Anciens ;*** auprès et au sud de la galerie de l'***Espérance***, les croisements des veines du ***filon A***, du ***croiseur*** h. 4, des ***Trois-Postes***, et du ***Chat.***

Le croiseur a contenu de très-beau minerai au nord et au sud de la galerie de l'***Espérance ;*** les kasths de ce nom, épuisés depuis longtemps, ont encore à Vialas une réputation de grande richesse.

Le *Bois-de-Petit* a une puissance un peu variable, généralement comprise entre 0m,50 et 0m,75 dans les parties stériles, c'est-à-dire dans les points où le filon n'a pas éprouvé de réouvertures postérieures, et dans lesquels il présente les caractères qui lui sont propres.

Son remplissage normal est du quartz carié, ferrugineux, ou pyriteux, séparé des deux épontes par des salbandes de schistes brisés ou d'argile noirâtre. Il est accompagné, au moins dans la région qui a été mise en exploration, par une veinule du toit, écartée de 5 à 6 mètres de la veine principale, d'une épaisseur très-faible, mais d'une continuité remarquable. Cette veinule du toit a été reconnue au deuxième étage aussi bien qu'au premier.

La veine barytique, h. 6 à 7, est coupée très-nettement par le *Bois-de-Petit*, et rejetée de quelques mètres sur la gauche; lè croiseur contient un peu de sulfate de baryte: cependant ce minéral ne forme, ni au toit ni au mur, des zones comparables à celles qui sont observées dans le *Bosviel.* Au point de vue théorique le fait est le même, le remplissage barytique est postérieur à l'arrivée du quartz ferrugineux dans le croiseur h. 3, mais la réouverture n'a pas eu la même importance.

Le croisement de la veine h. 4 par le *Bois-de-Petit* est très-net, la gangue pyriteuse ne passe pas dans le croiseur; c'est du reste ce qui a été observé pour toutes les veines h. 4, coupées par les filons et croiseurs plus récents.

Pour les diverses veines h. 5 qui sont coupées par le *Bois-de-Petit*, on a observé, comme au *Bosviel* et au *troisième croiseur*, le passage du minerai argentifère dans le croiseur; les fentes elles-mêmes sont coupées très-nettement. Le rejet est de 7 à 8 mètres sur la gauche.

Les deux veines verticales du filon A sont très-pauvres au toit du croiseur, et au contraire elles ont été d'une richesse très-grande au mur. Leur minerai très-argentifère a passé dans le *Bois-de-Petit*, et a formé contre l'éponte du mur des

zones d'une très-grande richesse. Le minerai des veines du toit passe également dans le croiseur, mais en veinules peu continues, lesquelles suivent la paroi du toit du *Bois-de-Petit.*

FILON LORRAIN. — A l'ouest du croiseur h. 3 dont je viens de parler on a constaté, soit par les affleurements, soit par les travaux souterrains, plusieurs filons ayant la même direction, présentant les mêmes caractères ; le plus important à signaler est le *filon Lorrain*, à l'ouest du quartier de la Picadière.

Son affleurement est aussi bien marqué que celui du *Bois-de-Petit*, mais il n'a été exploré qu'en un seul point à peu de distance du ruisseau de la Picadière. Sur la rive droite, on a fait autrefois quelques travaux en suivant une colonne minéralisée, mais on ne connaissait pas alors les véritables caractères des veines métallifères, et l'on n'a pas su trouver les veines h. 5, qui ont très-probablement déterminé l'arrivée du minerai dans le croiseur. Ce travail n'a pas été repris dans ces derniers temps, parce que l'exploration des veines minérales, qui peuvent exister de ce côté, sera faite plus complétement par la grande traverse du *Bloc* (premier étage).

Sur la rive gauche du ruisseau, une branche du toit du *filon Lorrain* vient d'être rejointe par une petite traverse ; on va suivre le croiseur h. 3 jusqu'à la rencontre du filon *Arnal*, la première veine au nord appartenant au système h. 5. Cette branche du *filon Lorrain* se présente avec une puissance de $0^{m},45$ à $0^{m},60$; elle est dirigée presque rigoureusement sur l'h. 3, et plonge vers le sud-est sous un angle de 60 degrés environ. Son remplissage est du quartz carié, peu ferrugineux, irrégulièrement mélangé avec des schistes brisés ; séparé des épontes par des salbandes d'argile noire.

7° SYSTÈME H. 6. — FILONS BARYTIQUES. — *E.* 18° 30' *N.* — Ce système de filons a été fort peu étudié jusqu'à présent ; leur remplissage barytique, leur direction h. 6, leur plongée vers le sud, rendent extrêmement difficile de les distinguer

des veines du système h. 6 à 7, qui sont les plus anciennes de toutes celles qui ont été reconnues à Vialas. Les deux systèmes sont confondus sur la carte, qui a été achevée en 1859. C'est postérieurement à cette date qu'on a rencontré au 2e étage un filon barytique coupant nettement un croiseur h. 1; c'est également à une époque plus récente que j'ai pu constater, dans une localité différente, des veines h. 6 barytiques coupant nettement les veines h. 3. Dans l'état actuel des travaux à la mine de Vialas je peux seulement signaler l'existence, désormais certaine, de ce système h. 6, mais je dois m'abstenir de donner sur lui des détails qui peut-être seraient infirmés par des explorations ultérieures.

Le remplissage paraît être exclusivement du sulfate de baryte, d'un blanc laiteux, à texture cristalline, entièrement dépourvu de minerai. Au point du deuxième étage où on a trouvé le croisement d'une veine h. 1 par un filon barytique h. 6, on a exploité une certaine quantité de minerai riche en argent; mais la galène, mélangée avec du quartz, ne se trouve en réalité dans aucun des deux filons; elle forme des veines et des veinules irrégulières, qui coupent assez nettement les gangues stériles, et pénètrent même à une distance notable dans les schistes. Le minerai existe dans un brouillage, évidemment produit par une réouverture postérieure au remplissage barytique.

C'est là un fait théorique très-important, car il démontre que l'arrivée de la galène riche en argent est plus récente que celle du sulfate de baryte du système h. 6.

8e Systèmes des croiseurs h. 10 a 11. — N. 40° 30′ O. — Les affleurements des croiseurs de ce système n'ont pas encore été suffisamment étudiés, et, pour ce motif, je n'ai pas marqué sur la carte les fentes qui paraissent avoir cette direction. Dans les travaux souterrains on a rencontré plusieurs veines stériles, coupant les filons h. 3; on n'a pu les explorer que sur une faible longueur, ce qui laisse un peu

d'incertitude sur leur direction réelle. Elles paraissent dirigées entre l'h. 10 et l'h. 11, ce qui m'a fait adopter le nombre N. 40° 30′ O.; peut-être des travaux plus développés feront-ils ajouter ou retrancher quelques degrés à cette direction. La mieux caractérisée de toutes les veines qui peuvent être rapportées à ce système est celle qui vient d'être rencontrée tout dernièrement par la galerie faite dans le *Bois-de-Petit*, au premier étage, à la recherche du filon *des Combes*.

Sa direction est à peu près h. 10; elle plonge vers le sud sous un angle de 75 degrés : les épontes bien nettes sont écartées de 0^m,45 environ; la veine est remplie par des schistes brisés et broyés. Les autres veines du même système ont un remplissage semblable, et jusqu'à présent on n'a trouvé dans aucune d'elles du sulfate de baryte ou du minerai. Avant de tirer une conclusion certaine de ce fait, il convient d'attendre que les travaux en cours d'exécution aient permis d'explorer un peu plus complétement ce système de croiseurs.

9° Système nord-sud. — N. 18° 30′ O. — On connaît à la surface, et l'on a rencontré dans les travaux souterrains, un nombre considérable de fentes, presque verticales, dirigées à peu près exactement du nord au sud magnétique, coupant nettement tous les filons des divers systèmes. J'ai fait rapporter la plupart de ces fentes sur le plan de surface, dont la réduction est jointe à mon mémoire; elles sont distinguées par la couleur violacée. Ainsi que je l'ai dit précédemment il ne m'a pas été possible d'inscrire à part toutes les veines qui appartiennent aux systèmes h. 1, h., 10 à 11, et les failles h. 11; j'ai pu cependant écrire la direction d'un certain nombre de ces veines et failles. Un coup d'œil jeté sur la carte permet d'apprécier combien sont nombreuses les fentes du système nord-sud.

La plupart de ces fentes ne contiennent aucune matière de remplissage : ce sont de simples cassures dont les parois bien nettes ne présentent aucune trace de frottement; elles

ont produit des rejets très-faibles, généralement bien inférieurs à 1 mètre. Le minerai des veines h. 5, le sulfate de baryte des veines h. 6 à 7, le quartz de l'h. 9, etc., ne pénètrent pas dans ces fentes, qui doivent être considérées comme certainement postérieures à toutes les époques d'arrivée du minerai et des gangues diverses.

FAILLES H. 11. — S. 33° 30′ E. — Les failles appartenant à ce système h. 11 sont peu nombreuses, et chacune d'elles n'a été reconnue que sur une étendue très-faible, en sorte que la direction adoptée n'est peut-être pas tout à fait exacte. De plus on n'a observé que les croisements des veines h. 5 et h. 9; pour l'âge de ces failles, on sait seulement qu'elles sont postérieures aux fentes h. 9.

Les deux plus importantes se trouvent au mur du *Bois-de-Petit*, à environ 50 mètres de distance l'une de l'autre : elles ont été reconnues à tous les niveaux de l'exploitation, depuis le deuxième étage jusqu'à la partie supérieure des kasths; elles sont à peu près parallèles et plongent vers l'ouest sous un angle de 45° environ. Chacune d'elles présente l'aspect d'une cassure parfaitement nette, accompagnée d'un brouillage assez étendu dans les schistes du toit. Il y a eu certainement des mouvements énergiques du terrain, car le mur est poli et strié assez profondément dans toutes les parties un peu proéminentes, tandis que dans les creux la surface est recouverte d'une couche d'argile noire, provenant des schistes broyés. Elles ont rejeté les veines h. 5 de 7 à 8 mètres sur la droite.

On ne voit aucune matière de remplissage dans ces failles, et c'est précisément en raison de l'absence complète de minerai qu'on n'a jamais cherché à les explorer en direction. Au croisement des veines métallifères se trouve un peu de minerai, de quartz et de carbonate de chaux dans les schistes brisés, au toit des failles : ces matières se présentent en veinules traversant la partie broyée des schistes, et rem-

plissent en partie les fissures. L'arrivée de ces matières est donc postérieure aux failles h. 11.

Deux autres failles parallèles ont été reconnues un peu plus à l'ouest, au nord et au sud de la galerie de l'Espérance, l'une à la traverse *du Bloc*, l'autre à la traverse *Richard;* elles ont été coupées par les traverses aux intersections de deux veines quartzeuses h. 9. Elles offrent à peu près les mêmes caractères que les précédentes, mais avec cette particularité que le quartz de l'h. 9 est broyé tout autant que les schistes : on en tire la conclusion très-importante que les fentes et le remplissage quartzeux h. 9 sont plus anciens que les failles h. 11.

On distingue à la surface plusieurs fentes ayant cette même direction h. 11, qui peuvent être considérées comme les affleurements de failles de ce système; mais elles ont été fort peu étudiées, parce que les failles doivent passer dans des quartiers de la mine dans lesquels on ne fait pas maintenant de travaux.

Glissements de terrain. — On a observé en plusieurs points de la mine, notamment dans les travaux d'exploration des *Combes*, et dans la partie la plus voisine du *Bosviel*, des fentes d'une nature toute spéciale : elles sont très-peu inclinées, suivant sur une grande longueur les strates des schistes, ou les coupant sous un angle très-aigu, et ne sont accompagnées d'aucune brisure du terrain. Je les désigne sous le nom de *glissements*, afin de les distinguer des véritables failles, dont elles diffèrent sous tous les rapports. Il est quelquefois impossible de les reconnaître dans les travaux au rocher, car souvent elles n'ont aucune épaisseur, et ne montrent que des traces de glissement à peine perceptibles. On les distingue mieux dans l'exploration des veines métallifères ou stériles, car celles-ci sont coupées nettement et rejetées d'une quantité variable.

L'attention des ingénieurs de Vialas n'a été appelée que tout récemment sur ces glissements de terrain; aussi n'a-t-

on pu étudier un peu complétement qu'un seul de ces accidents : il se trouve au toit du troisième croiseur, au deuxième étage ; sa direction est à peu près est-ouest ; il plonge de quelques degrés vers le nord ; il produit dans les veines un rejet de plus de 1 mètre. Le sens du rejet indique que le toit a glissé sur le mur ; l'absence de stries sur les surfaces, la solidité de la roche des deux côtés de la fente, démontrent que le glissement n'a été accompagné d'aucune pression notable.

Les veines qui sont coupées sont celles des systèmes les plus anciens h. 6 à 7 et h. 5, en sorte qu'on pourrait supposer, au premier aperçu, que le mouvement du terrain n'est pas très-récent ; mais en observant que le minerai de l'h. 6 à 7 se trouve dans une réouverture bien postérieure à la fente elle-même, et à son remplissage barytique, on est porté à penser que ce glissement est presque contemporain des fentes du système nord-sud.

(*La suite à la prochaine livraison.*)

MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE,
DU COMMERCE
ET
DES TRAVAUX PUBLICS.

DIRECTION GÉNÉRALE
DES
PONTS ET CHAUSSÉES
ET
DES CHEMINS DE FER.

CHEMINS DE FER.

DIVISION
de l'exploitation.

Bureau de l'exploitation
technique.

ACCIDENTS DE CHEMINS DE FER.

RÉCAPITULATION ANNUELLE

ANNÉE 1862.

ANNÉE ENTIÈRE.	Nombre de voyageurs dans l'année, 63.960.696. Longueur exploitée, 10.427k,371 en moyenne.	Nombre de trains.	Express. . . . . 49.749 / Omnibus et mixtes. 556.127 / Marchandises. . . . 370.789 / Ballast. 96.676	1.073.341 trains.

DÉSIGNATION SPÉCIALE

Indication du lieu de l'accident: en gare.	Indication du lieu de l'accident: en ligne.	Nombre total des accidents.	DÉSIGNATION des compagnies.	Nombre de kilomètres en exploitation au 31 décembre 1862.	CAUSES. Imprudence des victimes.	Négligence des agents.	Imprudence d'autres personnes.	Malveillance.	Suicides.	Machines.	Flammèches, combustible incandescent.	Tenders et wagons.	Essieux.	Aiguilles.	Voie (rails, ballast, ouvrages d'art, éboulements, terrassements).	Ateliers sur la voie.	Clôtures.	Neiges, brouillards, verglas, inondations, etc.	Cas fortuits.	Causes demeurées inexpliquées.
				kil.																
95	210	305	Nord.	1.175	62	63	4	»	7	95	3	9	21	1	6	»	»	13	11	10
4	7	11	Anzin à Somain. . .	19	1	2	»	»	»	6	»	»	1	1	»	»	»	»	»	»
187	421	508	Est.	2.087	102	116	»	2	3	253	1	28	47	10	10	2	»	4	21	6
12	48	60	Ardennes.		16	8	»	»	2	22	»	1	1	2	6	»	»	»	1	1
68	134	202	Ouest.	1.307	70	40	4	1	2	51	1	3	12	2	3	»	2	1	3	7
75	219	294	Orléans.	2.393	47	56	4	»	1	110	»	4	20	2	15	»	»	3	14	18
141	303	444	Paris à Lyon par la Bourgogne. .		54	83	2	1	2	147	20	18	47	»	9	»	»	5	46	10
27	133	160	Paris à Lyon par le Bourbonnais.		24	27	3	1	3	56	2	17	4	»	4	»	»	1	6	12
135	145	320	Lyon-Méditerranée.	2.761	81	79	3	»	3	43	3	5	21	1	9	»	»	13	6	13
16	27	43	Genève.		5	11	»	»	»	14	»	2	»	»	5	»	»	2	4	»
6	30	36	Dauphiné.		8	3	»	»	1	12	1	1	1	1	3	»	»	2	3	»
71	198	269	Midi.	1.089	36	60	1	1	3	87	1	6	12	»	7	»	1	9	14	31
2	2	4	Bességes à Alais. . .	32	»	2	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
»	14	14	Graissessac à Béziers. .	51	»	»	»	»	»	7	»	1	»	1	2	»	»	1	»	2
9	35	41	Ceinture.	17	2	5	1	1	1	15	»	1	2	»	12	»	»	»	2	2
3	2	5	Carmaux à Albi. . .	15	»	2	»	»	»	1	»	1	»	»	»	»	»	»	»	1
2	9	11	Victor-Emmanuel. .	116	2	1	»	»	»	2	»	»	1	»	»	»	»	1	4	»
853	1.937	2.790	Totaux.	11 06[illegible]	510	558	22	7	28	922	32	97	190	21	91	2	3	55	138	114

Total des kilomètres parcourus par les trains			
	Express	8.638.745,3	81.560.893 kilomètres.
	Omnibus et mixtes	37.965.312,5	
	Marchandises	32.943.505,2	
	Ballast	2.013.330,0	

DES CAUSES ET DES EFFETS.

EFFETS. Quant aux personnes. Morts. Voyageurs.	Agents.	Autres.	Totaux des morts.	Blessés. Voyageurs.	Agents.	Autres.	Totaux des blessés.	Totaux des personnes atteintes.	Déraillements.	Retards par suite d'accidents. Nombre des trains attardés.	Durée cumulée des retards.	Interruption de la circulation.	Incendies.	Avaries et dégâts.	Chocs et collisions.	Voitures et bestiaux atteints par les convois.	Trains en détresse.	Trains en dérive.	Véhicules échappés.	RÉPARTITION des accidents. Trains de voyageurs.	Trains mixtes.	Trains de marchandises.	Trains de ballastage.	Véhicules isolés.	Autres accidents.
											h. m.	h. m.													
2	30	19	51	1	36	7	44	95^{87}	73	245	530,27 2,10	164,25	5	63	28	7	126	2	2	98	8	119	5	61	14
»	»	»	»	»	1	»	1	1	3	6	4,57 0,49	»	»	4	»	»	2	»	»	1	»	9	»	1	»
2	25	8	35	8	84	6	98	133	149	548	813,15 1,29	203,55	1	147	48	4	292	»	»	158	15	308	6	98	23
»	3	3	6	1	12	»	13	19	11	40	60,40 1,31	49,22	1	15	6	»	24	»	1	23	4	21	2	9	1
3	6	3	12	25	54	8	87	99^{88}	44	151	196,09 1,18	7,43	5	38	10	5	54	»	»	75	19	52	4	37	15
3	18	4	25	9	38	2	49	74^{61}	73	246	417,42 1,42	13,00	2	57	23	8	104	»	4	82	61	94	12	40	5
»	19	2	21	19	103	4	126	147^{124}	99	404	742,47 1,51	156,20	20	91	36	3	180	»	1	142	3	191	8	60	40
1	8	4	13	2	27	10	39	52^{42}	32	204	317,13 1,34	257,52	2	37	12	4	68	»	»	57	1	75	1	18	8
1	11	11	23	6	48	22	76	99^{83}	97	257	444,10 1,41	21,00	5	68	36	2	44	1	1	36	3	122	3	69	47
»	2	»	2	»	7	1	8	10^{9}	7	39	58,00 1,29	23,54	»	12	2	»	11	»	2	7	5	21	1	4	5
»	»	3	3	2	3	3	8	11^{10}	4	33	49,48 1,30	4,00	2	6	4	2	12	1	»	10	3	16	»	1	6
»	7	5	12	17	47	3	67	79^{61}	82	250	482,50 1,55	80,14	4	58	29	5	90	3	»	6	30	142	23	29	39
»	»	»	»	»	1	»	1	1	2	7	34,00 4,51	1,00	»	2	1	»	»	»	»	»	»	3	»	1	»
»	»	»	»	»	1	»	1	1	6	27	61,45 2,17	20,25	»	3	»	»	8	»	»	»	8	5	»	»	1
»	»	2	2	1	7	1	9	11^{8}	26	43	56,03 1,18	38,10	»	13	2	1	16	»	»	2	»	35	2	3	2
»	»	»	»	»	»	»	»	»	2	10	10,35 1,03	»	»	»	1	»	1	»	»	»	5	»	»	»	»
»	»	»	»	»	2	»	2	2	2	5	3,20 0.40	1,00	1	»	»	2	1	»	»	4	2	2	»	1	2
12	129	64	205	91	471	67	629	834 pour 740 accidents.	712	2.515	4.283,31 1,43	»	48	614	238	43	1.033	7	13	701	167	1.215	67	432	208

Observations du tableau précédent.

Nota. — Il y a eu, pendant l'année 1862, 12 voyageurs tués et 91 blessés, savoir :

1° Par le fait de l'exploitation.

1 tué. — Enfant tombé d'une voiture dont la portière avait été mal fermée.

53 blessés, dont 45 dans 9 collisions.

45 {
- 2 dans la collision du 21 janvier, près de Montpellier (Lyon-Méditerranée).
- 3 dans la collision du 6 février, à la bifurcation de Moret (Paris-Lyon).
- 10 dans la collision du 22 mai, en gare de Baziège (Midi).
- 4 dans la collision du 24 mai, en gare de Perrache (Paris-Lyon).
- 6 dans la collision du 16 juin, en gare de Ranchot (Paris-Lyon).
- 1 dans la collision du 23 juin, à la Sablière de Myennes (Bourbonnais).
- 11 dans la collision du 5 octobre, à la gare de Versailles (rive droite. — (Ouest.)
- 6 dans la collision du 21 octobre, à la gare de Montauban (Midi).
- 2 dans la collision du 26 octobre, près de Lorient (Orléans).

3 — 3 dans le déraillement du 13 décembre, sur la ligne de Belfort (Paris-Lyon).

4 — Par suite de la fermeture trop brusque de portières de voitures.

1 — Par le fait de la chute d'un postillon.

Total. . 53

2° Par le fait de leur imprudence.

9 tués et 35 blessés, pour avoir voulu monter, descendre, se tenir debout, changer de place, etc., pendant la marche des trains.

3° Par suite de diverses causes.

2 voyageurs tués (suicidés) et 3 blessés.

Tableau récapitulatif des accidents de personnes.

	Par le fait de l'exploitation.			Par l'imprudence des victimes.			Par autres causes.		
	Tués.	Blessés.	Total.	Tués.	Blessés.	Total.	Tués.	Blessés.	Total.
Voyageurs.	1	53	54	9	35	44	2	3	5
Agents.	14	74	88	92	299	391	23	98	121
Autres personnes.	4	7	11	39	51	90	21	9	30
Totaux.	19	134	153	140	385	525	46	110	156

24 suicidés et 4 tentatives de suicide.

MÉMOIRE

SUR LES FILONS DE GALÈNE ARGENTIFÈRE DE VIALAS (LOZÈRE).

Par M. L.-E. RIVOT, ingénieur en chef des mines,
professeur à l'École des mines (*).

(SUITE.)

§ 4. *Détails sur les croisements des veines différentes.*

Pour compléter la description des filons de Vialas, il me paraît utile de présenter quelques détails sur les croisements, et sur le mode de répartition du minerai dans les veines qui peuvent être considérées comme réellement métallifères. Je suivrai le même ordre que dans le paragraphe précédent, en commençant par les systèmes les plus anciens.

1° Système h. 6 à 7. — Les fentes appartenant à ce système sont certainement les plus anciennes, puisqu'elles sont coupées et rejetées par tous les autres filons, par les failles, les fentes, et les glissements de terrain; mais elles n'ont été remplies qu'à une époque relativement toute récente. Le remplissage principal est la baryte blanche, cristalline, complétement stérile : ce minéral passe, sans être coupé, des veines h. 6, direction probable de son arrivée, dans les fentes plus anciennes.

A côté de la baryte se trouve, mais seulement en certaines parties de ces veines, un remplissage entièrement différent, composé de quartz, de schistes broyés, et de galène très-riche en argent. Ces matières forment dans les veines des colonnes distinctes du sulfate de baryte; elles pénètrent

(*) *Voir* la première partie, page 309 de ce volume.

dans quelques fissures de la gangue barytique : l'arrivée du minerai est donc postérieure au premier remplissage, et par conséquent à l'arrivée du sulfate de baryte dans la direction h. 6. Aux croisements par les veines appartenant aux systèmes intermédiaires on voit également le minerai passer, sans être coupé, des veines h. 6 à 7 dans les croiseurs : les veines du système h. 6 à 7 ont donc subi deux réouvertures successives, toutes les deux postérieures à la formation des fentes h. 6. Ces réouvertures se sont produites en même temps dans plusieurs veines appartenant à des systèmes plus récents que celui dont la direction est h. 6 à 7.

Les époques d'arrivée successives du sulfate de baryte et du minerai se placent très-probablement entre la formation des fentes h. 6 et celle des croiseurs du système h. 10 à 11, dans lesquels on n'a trouvé jusqu'à présent ni sulfate de baryte ni minerai. En tout cas ces matières minérales sont arrivées dans les filons avant la formation des fractures nord-sud. Ces caractères des veines h. 6 à 7 rendent leur exploration extrêmement difficile : en suivant le sulfate de baryte ou le minerai, on est conduit à quitter les veines pour passer dans des filons tout différents.

Cela s'est présenté dans les travaux faits anciennement à tous les étages ; je citerai seulement l'exemple du deuxième étage (voir Pl. X, *fig.* 1). L'examen attentif de la galerie *Solberge* a fait reconnaître que les travaux ont été faits réellement dans un nombre considérable de veines, appartenant à des systèmes différents, bien qu'on n'ait pas cessé de suivre soit la gangue barytique, soit le minerai.

En partant du *Bosviel*, à l'est, et en allant vers l'ouest, on trouve :

1° Le véritable filon *des Anciens*, dirigé h. 6 à 7, et plongeant vers le sud ; il a contenu de ce côté du minerai très-argentifère ;

2° Une veine h. 4, plongeant au sud ; elle passe auprès du puits Belliard, dans un brouillage qui présente encore

du minerai, disséminé en veinules irrégulières dans les schistes brisés. La veine h. 4 a conduit vers le sud à l'une des veines h. 5, dans lesquelles ont été montés les kasths Villemereux. Les schistes sont tellement brouillés dans le voisinage du puits Belliard qu'il est difficile de reconnaître dans quel sens a lieu le rejet de la veine h. 6 à 7 par le croiseur h. 4. Le rejet paraît être sur la droite ;

3° Un second lambeau du véritable filon des Anciens, divisé en deux veines assez puissantes, qui ont contenu de très-beau minerai ;

4° Un croiseur quartzeux, h. 9, par lequel le filon des *Anciens* a été rejeté de plusieurs mètres sur la droite ; le sulfate de baryte et le minerai ont passé au toit et au mur, et les anciens exploitants ne se sont pas aperçus que cette partie de l'exploitation était faite dans une veine différente du filon *des Anciens* ;

5° Un troisième lambeau de la veine h. 6 à 7, barytique, et très-riche en minerai. C'est dans cette partie qu'on a foncé, il y a quelques années, le puits Solberge, abandonné maintenant par suite de l'abondance des eaux.

Le filon a présenté dans le puits une puissance de $0^m,80$ à $0^m,90$; il contient beaucoup de minerai. On a constaté dans ce travail le glissement de terrain, dont j'ai parlé précédemment ;

6° Une veine barytique h. 6, qui a rejeté sur la gauche le filon *des Anciens* ; elle n'en diffère en direction que par un petit nombre de degrés ; elle est bien plus barytique et moins bien minéralisée ; elle a du reste à très-peu près la même puissance et la même inclinaison, en sorte qu'on a pu très-facilement la confondre avec un simple coude du filon lui-même ;

7° Un nouveau lambeau de la veine h. 6 à 7, se terminant à un brouillage déterminé par deux croiseurs qui passent presqu'au même point ; le *premier croiseur*, du système h. 1, presque vertical avec une légère inclinaison

ANNÉE ENTIÈRE.	Nombre de voyageurs dans l'année, 63.960.696. Longueur exploitée, 10.127k,371 en moyenne.	Nombre de trains.	Express........ 49.749 · Omnibus et mixtes. 556.127 · Marchandises.... 370.789 · Ballast........ 96.676 — 1.073.341 trains.

Indication du lieu de l'accident: en gare.	Indication du lieu de l'accident: en ligne.	Nombre total des accidents.	DÉSIGNATION des compagnies.	Nombre de kilomètres en exploitation au 31 décembre 1862.	DÉSIGNATION SPÉCIALE — CAUSES: Imprudence des victimes.	Négligence des agents.	Imprudence d'autres personnes.	Malveillance.	Suicides.	Machines.	Flammèches, combustible incandescent.	Tenders et wagons.	Essieux.	Aiguilles.	Voie (rails, ballast, ouvrages d'art, éboulements, terrassements).	Ateliers sur la voie.	Clôtures.	Neiges, brouillards, verglas, inondations, etc.	Cas fortuits.	Causes demeurées inexpliquées.
				kil.																
95	210	305	Nord..........	1.175	62	63	4	»	7	95	3	9	21	1	6	»	»	13	11	10
4	7	11	Anzin à Somain...	19	1	2	»	»	»	6	»	»	1	1	»	»	»	»	»	»
187	421	508	Est..........	2.087 (Est et Ardennes)	102	116	»	2	3	253	1	28	47	10	10	2	»	4	21	[illegible]
12	48	60	Ardennes.......		16	8	»	»	2	22	»	1	1	2	6	»	»	»	[illegible]	1
68	134	202	Ouest.........	1.307	70	40	4	1	2	51	1	3	12	2	3	»	2	1	3	7
75	219	294	Orléans........	2.393	47	56	4	»	1	110	»	4	20	2	15	»	»	3	14	13
141	303	444	Paris à Lyon par la Bourgogne..	2.761 (Paris à Lyon, Lyon-Méditerranée, Genève, Dauphiné)	54	83	2	1	2	147	20	18	47	»	9	»	»	5	46	10
27	133	160	Paris à Lyon par le Bourbonnais.		24	27	3	1	3	56	2	17	4	»	4	»	»	1	6	12
135	145	320	Lyon-Méditerranée.		81	79	3	»	3	43	3	5	21	1	9	»	»	13	6	13
16	27	43	Genève.......		5	11	»	»	»	14	»	2	»	»	5	»	»	2	4	»
6	30	36	Dauphiné.......		8	3	»	»	1	12	1	1	1	1	3	»	»	2	3	»
71	198	269	Midi..........	1.089	36	60	1	1	3	87	1	6	12	»	7	»	1	9	14	21
2	2	4	Bességes à Alais...	32	»	2	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
»	14	14	Graissessac à Béziers..	51	»	»	»	»	»	7	»	1	»	1	2	»	»	1	»	2
9	35	44	Ceinture.......	17	2	5	1	1	1	15	»	1	2	»	12	»	»	»	2	2
3	2	5	Carmaux à Albi...	15	»	2	»	»	»	1	»	1	»	»	»	»	»	»	»	1
2	9	11	Victor-Emmanuel..	116	2	1	»	»	»	2	»	»	1	»	»	»	»	1	4	»
853	1.937	2.790	Totaux....	11 062	510	558	22	7	28	922	32	97	190	21	91	2	3	55	138	114

Total des kilomètres parcourus par les trains.			
	Express.	8.638.746,3	81.560.893 kilomètres.
	Omnibus et mixtes. .	37.965.312,5	
	Marchandises.	32.943.505,2	
	Ballast.	2.013.330,0	

DES CAUSES ET DES EFFETS.

Effets. — Quant aux personnes. — Morts. — Voyageurs.	Morts. — Agents.	Morts. — Autres.	Totaux des morts.	Blessés. — Voyageurs.	Blessés. — Agents.	Blessés. — Autres.	Totaux des blessés.	Totaux des personnes atteintes.	Déraillements.	Retards par suite d'accidents. — Nombre des trains attardés.	Retards par suite d'accidents. — Durée cumulée des retards.	Interruption de la circulation.	Incendies.	Avaries et dégâts.	Chocs et collisions.	Voitures et bestiaux atteints par les convois.	Trains en détresse.	Trains en dérive.	Véhicules échappés.	Répartition des accidents. — Trains de voyageurs.	Trains mixtes.	Trains de marchandises.	Trains de ballastage.	Véhicules isolés.	Autres accidents.
											h. m.	h. m.													
2	30	19	51	1	36	7	44	95[87]	73	245	530,27 2,10	164,25	5	63	28	7	126	2	2	98	8	119	5	61	14
»	»	»	»	»	1	»	1	1	3	6	4,57 0,49	»	»	4	»	»	2	»	»	1	»	9	»	1	»
2	25	8	35	8	84	6	98	133	149	548	813,15 1,29	203,55	1	147	48	4	292	»	»	158	15	308	6	98	23
»	3	3	6	1	12	»	13	19	11	40	60,40 1,31	49,22	1	15	6	»	24	»	1	23	4	21	2	9	1
3	6	3	12	25	54	8	87	99[88]	44	151	196,09 1,18	7,43	5	38	10	5	54	»	»	75	19	52	4	37	15
3	18	4	25	9	38	2	49	74[61]	73	246	417,42 1,42	13,00	2	57	23	8	104	»	4	82	61	94	12	40	5
»	19	2	21	19	103	4	126	147[124]	99	404	742,47 1,51	156,20	20	91	36	3	180	»	1	142	3	191	8	60	40
1	8	4	13	2	27	10	39	52[42]	32	204	317,13 1,34	257,52	2	37	12	4	68	»	»	57	1	75	1	18	8
1	11	11	23	6	48	22	76	99[93]	97	267	444,10 1,41	21,00	5	68	36	2	44	1	1	36	3	122	3	69	47
»	2	»	2	»	7	1	8	10[9]	7	39	58,00 1,29	23,54	»	12	2	»	11	»	2	7	5	21	1	4	5
»	»	3	3	2	3	3	8	11[10]	4	33	49,48 1,30	4,00	2	6	4	2	12	1	»	10	3	16	»	1	6
»	7	5	12	17	47	3	67	79[61]	82	250	482,50 1,55	80,14	4	58	29	5	90	3	»	6	30	142	23	29	39
»	»	»	»	»	1	»	1	1	2	7	34,00 4,51	1,00	»	2	1	»	»	»	»	»	»	3	»	1	»
»	»	»	»	»	1	»	1	1	6	27	61,45 2,17	20,25	»	3	»	»	8	»	»	»	8	5	»	»	1
»	»	2	2	1	7	1	9	11[8]	26	43	56,03 1,18	38,10	»	13	2	1	16	»	»	2	»	35	2	3	2
»	»	»	»	»	»	»	»	»	2	10	10,35 1,03	»	»	»	1	»	1	»	»	»	5	»	»	»	»
»	»	»	»	»	2	»	2	2	2	5	3,20 0.40	1,00	1	»	»	2	1	»	»	4	2	2	»	1	2
2	129	64	205	91	471	67	629	834 pour 740 accidents.	712	2.515	4.283,31 1,43	»	48	614	238	43	1.033	7	13	701	167	1.215	67	432	208

barytique par le croiseur h. 9. La veine h. 6 à 7 est rejetée sur la droite de plus de 8 mètres; le sulfate de baryte passe, sans être coupé, dans le croiseur, et forme deux veines assez continues, plaquées contre le quartz, au toit et au mur, et se prolongeant à une certaine distance des points de croisements : ce fait démontre nettement que le remplissage quartzeux de l'h. 9 est antérieur à l'arrivée du sulfate de baryte.

Filons du système h. 5. — Les veines qui appartiennent au système h. 5 sont très-nombreuses, et en même temps d'une irrégularité telle qu'il me paraît impossible d'en donner une description à peu près complète; je dois me borner à l'exposé des faits les plus importants, c'est-à-dire de ceux qui me paraissent de nature à mettre en évidence les réouvertures, les arrivées successives des minerais de teneurs différentes, et à la description d'un certain nombre de croisements par des veines plus récentes.

Nature des minerais. — La teneur en argent des échantillons de galène, pris dans les diverses parties de la mine, présente des variations très-grandes; en voici quelques exemples : La veine *Arnal* (la plus au nord du système h. 5) donne du plomb à 450 grammes aux 100 kilog.; les veinules h. 5, qui correspondent au bel affleurement du *point O*, ont donné à l'essai de la galène contenant 20 grammes et 700 grammes d'argent pour 100 kilog.; cependant ces veinules ne sont pas écartées de plus de 1 mètre, et elles offrent des caractères presque identiques.

Les veines du filon A contiennent du minerai donnant à l'essai, et par 100 kilog. de plomb d'œuvre :

Au fond du puits *Belliard*, 507 gr., 416 gr. d'argent;

Au premier étage, à l'ouest du *Colombert* : 268 gr., 320 gr., 347 gr., 520 gr. d'argent;

Entre le premier et le deuxième étage, au mur du *Bois-de-Petit* : 422 gr., 560 gr., 511 gr. d'argent;

Au mur du *Bois-de-Petit*, dans la veine couchée, aux *kasths Villard*, 560 gr., 407 gr. d'argent;

Dans le quartier de la Picadière, au premier étage : 230 gr., 341 gr., 395 gr., 460 gr., 400 gr., 571 gr. d'argent;

Dans les veines *du Chat*, l'irrégularité est tout aussi grande; ainsi, des échantillons pris dans les kasths, au-dessus du premier étage, ont donné du plomb tenant aux 100 kilog. : 345 gr., 372 gr., 352 gr., 453 gr., 320 gr., 495 gr., 237 gr., 488 gr., 540 gr., 261 gr., 590 gr. d'argent;

On a exploité dans les kasths Villemereux et près du *Bosviel*, plusieurs veines différentes, appartenant au groupe *du Chat* et des *Trois-Postes;* les essais d'un grand nombre d'échantillons ont présenté des variations analogues, à tous les niveaux de l'exploitation : la teneur en argent la plus faible est de 350 gr., la plus élevée de 570 gr.

Les essais des échantillons pris dans les veines des *Trois-Postes* ont donné des variations plus grandes encore; ainsi on a obtenu pour 100 kilog. de plomb : 137 gr., 358 gr., 247 gr., 372 gr., 234 gr., 434 gr., 207 gr., 488 gr.

Dans les veines *des Combes* la richesse en argent est plus régulière; les nombreux essais qni ont été faits jnsqu'à présent indiquent seulement trois teneurs différentes, 400 gr., 500 gr., 680 gr. aux 100 kilog. de plomb, et la teneur moyenne du minerai abattu dans plus de 4.000 mètres cubes dépasse 600 gr. d'argent aux 100 kilog. de plomb.

En examinant attentivement les différentes veines dans les parties exploitées, et ensuite les échantillons prélevés pour les essais, on reconnaît assez nettement qu'il y a, dans la plupart des cas, mélanges de minerais très-divers, et l'on parvient à distinguer ceux qui sont les plus anciens et ceux qui sont arrivés en dernier lieu dans les filons.

Ainsi les veines qui contiennent de la galène à 20 gr. d'argent sont coupées avec la plus grande netteté par tous les

croiseurs, la galène est lamelleuse, et présente partout le même aspect; elle est mélangée avec du quartz blanc et avec du carbonate de chaux à peine cristallin : les trois espèces minérales sont certainement arrivées à la même époque dans quelques-unes des fentes h. 5, qu'elles ont remplies avant les croisements par les systèmes plus récents. Le minerai à 20 gr. n'a été trouvé dans aucun croiseur, ce qui me paraît une preuve certaine de son antériorité. Il faut cependant faire une exception pour les croiseurs h. 4, dans lesquels le minerai pauvre en argent n'a pénétré qu'en un très-petit nombre de points. L'arrivée de la galène à 20 gr. peut être aussi bien antérieure que postérieure à la formation des fentes h. 4.

Pour les minerais les plus riches, pour ceux qui rendent à l'essai du plomb contenant 500 ou 700 gr. environ aux 100 kilogrammes, on peut affirmer avec certitude qu'ils sont d'une formation très-récente : ils forment dans les filons h. 5 des veines ou des veinules parfaitement distinctes, dans lesquelles la galène conserve le même grain et le même aspect, et qui se prolongent, sans être coupées, au toit ou au mur, ou même dans l'intérieur des croiseurs des systèmes h. 9, h. 1, h. 3. On retrouve les mêmes minerais dans les veines h. 6 à 7, et dans ces filons les deux variétés de galène sont certainement postérieures à l'arrivée du sulfate de baryte. On ne trouve pas la galène argentifère dans les croiseurs h. 10 à 11, ni dans les fentes nord-sud.

L'époque de l'arrivée des minerais très-riches en argent est ainsi indiquée d'une manière assez approximative. Ces minerais ont été déposés par des eaux minérales dans des réouvertures bien postérieures à la formation des fentes h. 5, à une époque comprise entre la production et le remplissage barytique des fentes h. 6 et la formation des fentes N. S. De plus, les deux minerais inégalement riches n'ont pas été déposés en même temps, ou du moins n'ont pas pour origine les mêmes sources minérales.

La galène à 700 grammes a pour gangue dominante le carbonate de chaux, en cristaux souvent très-nets, affectant les formes du métastatique, et du dodécaèdre rhomboïdal, transparents, incolores, ou légèrement bleuâtres. La galène est en grains assez fins, mais aisément discernables, d'une couleur presque blanche, et d'un éclat particulier. Dans quelques parties des *Combes* le même minerai a pour gangue la baryte sulfatée rose, lamelleuse plutôt que cristalline. Le minerai à gangue barytique forme des veines spéciales qui accompagnent les veines calcaires, sans qu'on puisse reconnaître quelles sont les plus anciennes.

La galène donnant du plomb d'œuvre à 500 grammes (ou environ) a été trouvée dans plusieurs parties des *Combes*, des filons A, du *Chat*, et des *Trois-Postes*. Dans les *Combes* la gangue dominante est encore le carbonate de chaux cristallin ; l'aspect est à peu près le même que pour le minerai plus riche ; cependant on reconnaît en quelques points, notamment à l'ouest à la traverse des Roudellats, les veinules de galène à 700 grammes traversant la galène d'une teneur moins élevée. Cette dernière est plus compacte, son éclat est moins brillant, et surtout le carbonate de chaux qui l'accompagne est moins nettement cristallisé.

Dans les autres filons h. 5, le minerai à la teneur de 500 grammes forme des veines ou des veinules d'une puissance et d'une continuité très-variables ; tantôt elles remplissent entièrement les fentes et même les fissures des schistes, tantôt elles traversent un premier remplissage contenant de la galène moins argentifère ; d'autres fois (comme dans le filon A, à l'ouest du Colombert et au premier étage) elles se présentent sous forme d'amandes ou de plaquettes, presque indépendantes des filons eux-mêmes. La gangue ordinaire est le quartz, mélangé de carbonate de chaux blanc, cristallin, de carbonate de fer, de blende et de pyrite de fer.

Quelques veines du système h. 5 donnent du minerai dont la teneur en argent est intermédiaire entre 500

grammes et 600 grammes aux 100 kilog. de plomb : mais on peut reconnaître presque partout, à la présence du carbonate de chaux cristallisé, et à l'aspect de la galène, qu'il y a mélange presque intime du minerai le plus riche avec la galène à 500 grammes.

Les minerais moins argentifères sont difficilement classés par ordre d'ancienneté, car en un grand nombre de points on distingue des veinules d'aspects différents, se croisant les unes les autres, ou bien de la galène à grains fins disséminée sur de la galène plus ou moins lamelleuse. D'après les observations que j'ai pu faire à diverses époques dans la mine, les minerais réellement différents sont ceux dont les teneurs moyennes sont 150 grammes, 250 grammes, 350 grammes d'argent aux 100 kilog. de plomb.

La galène la moins riche, rendant à l'essai de 140 à 160 grammes d'argent, a été trouvée dans plusieurs veines, notamment dans celles des *Trois-Postes*, un peu à l'est du percement du Colombert ; elle en est lamelles assez petites, réparties dans une gangue de carbonate de chaux, blanc, opaque, cristallisé imparfaitement, ou lamelleux. Ce minerai passe dans les croiseurs h. 1 et h. 3 ; il est donc d'une époque assez récente, bien que son arrivée soit certainement plus ancienne que celle des minerais plus riches. On voit en effet le remplissage de galène pauvre et de carbonate de chaux traversé par des veinules de galène à grains plus fins, rendant à l'essai du plomb d'une teneur beaucoup plus élevée.

La galène à 250 grammes est beaucoup moins lamelleuse que la précédente, mais elle n'est pas encore en grains comme les minerais plus riches ; elle est accompagnée d'une gangue assez variable dans les divers quartiers de la mine. Dans les veines des *Trois-Postes*, au premier étage, à l'est du Colombert, elles se présentent en mouches et en veinules dans du sulfate de baryte blanc et lamelleux ; dans les mêmes veines, un peu à l'ouest du Colombert la gangue

est du carbonate de chaux, également blanc, opaque et cristallin. Dans le même quartier les veines du filon A contiennent de la galène un peu lamelleuse, à la teneur d'environ 250 grammes, dans une gangue de quartz et de carbonate de chaux, et le minerai est accompagné d'un peu de blende. Cette galène se retrouve en petite quantité dans les croiseurs des systèmes h. 4, h. 1 et h. 3. Son arrivée est donc postérieure à la formation et au remplissage des fentes du système h. 3; elle est postérieure à celle de la galène à 150 grammes, car cette dernière est traversée en plusieurs points par les veinules du minerai plus riche.

Je dois faire observer que l'existence de la galène dans les croiseurs h. 4 n'a été constatée qu'en un seul point, à la Picadière, et pour ce seul minerai à la teneur de 250 grammes. Ces croiseurs h. 4 sont cependant très-anciens, mais leur remplissage paraît avoir résisté à presque toutes les réouvertures successives, dans lesquelles les eaux minérales ont pu déposer les minerais de richesses différentes.

La galène à la teneur de 350 grammes se voit principalement dans les veines des *Trois-Postes* et du *Chat ;* elle est à texture grenue, et son éclat est moins brillant que celui du minerai des *Combes.* La gangue qui l'accompagne est un mélange de quartz, de carbonate de chaux et de carbonate de fer ; elle est mélangée avec un peu de blende et de pyrite; ce dernier minéral est abondant surtout dans les parties supérieures des veines, notamment aux kasths Villemereux.

La blende et la pyrite ne sont pas argentifères; la blende est probablement arrivée dans les filons en même temps que la galène, mais je n'oserais pas affirmer qu'il en soit ainsi pour la pyrite ; le mélange des deux espèces minérales n'est pas intime.

Le minerai à 350 grammes est plus ancien que la galène riche en argent, car cette dernière se présente en plusieurs

points sous forme de veines et de veinules traversant le remplissage qui contient la galène à 350 grammes. En d'autres points les deux minerais de richesses différentes sont tellement enchevêtrés qu'on ne saurait distinguer lequel est le plus ancien. On ne peut même pas toujours reconnaître le mélange des deux minerais dans quelques parties des filons, dans lesquelles les essais accusent des teneurs en argent intermédiaires entre 350 et 500 grammes.

Je ne pense pas qu'on doive admettre une arrivée spéciale de galène à la teneur de 400 grammes, et je base mon opinion sur l'analogie que présentent ces points avec les parties des veines où les minerais différents sont mélangés d'une manière moins intime.

On n'a encore trouvé que très-rarement dans les croiseurs de la galène à la teneur de 350 grammes, et on ne peut déterminer approximativement l'époque à laquelle elle a été déposée dans les filons h. 5 que par l'observation attentive de ces filons eux-mêmes. On voit en quelques points des veines des *Trois-Postes* le minerai dont je m'occupe maintenant former des veinules, qui traversent le remplissage accompagnant la galène lamelleuse; il me paraît donc probable que l'époque de son arrivée doit être placée entre celle de la galène à 250 grammes, et celle de la galène très-riche en argent.

D'après les observations qui ont été faites jusqu'à présent, et dont je viens d'exposer les points les plus importants, la minéralisation des veines h. 5 s'est faite en plusieurs fois, les minerais arrivant avec des gangues différentes, et remplissant des réouvertures produites successivement. La galène à peine argentifère est certainement la plus ancienne; elle est peut-être contemporaine de la formation des fentes elles-mêmes. Les minerais plus riches sont au contraire assez récents, et tous sont arrivés postérieurement aux fentes et au remplissage des croiseurs du système h. 3. Les minerais à 500 grammes et à 700 grammes sont assurément

plus récents que le système h. 6. Je pense qu'on doit classer les arrivées successives dans l'ordre suivant, en commençant par les plus anciens :

Minerai à 150 gr. avec carbonate de chaux blanc et opaque;
Minerai à 250 gr. avec quartz et carbonate de chaux opaque;
Galène à 350 gr. avec quartz à grains fins, carbonates de chaux et de fer;
Galène à 500 gr. avec quartz et carbonate de chaux cristallisé;
Galène à 700 gr. avec carbonate de chaux cristallisé et baryte rose.

Ces deux derniers minerais sont ceux qui ont rempli les réouvertures les plus importantes ; ce sont les seuls qui aient passé en quantités considérables dans les croiseurs. A l'ouest de Vialas, au Villaret, on a des veines h. 5 qui contiennent de la galène à 80 grammes, laquelle passe en veinules dans le quartz et dans le sulfate de baryte du *grand filon du sud.* Cela tend à démontrer l'existence d'une arrivée de minerai différente de celles que je viens d'énoncer.

CROISEMENTS. — Je vais maintenant citer quelques exemples de croisements.

Croisement des veines h. 5 *par le filon h.* 4. — Ainsi que je l'ai dit précédemment, les exemples de croisements des veines h. 5 par l'h. 4 sont très-nombreux dans la mine de Vialas; on voit à peu près tous les niveaux des galeries d'allongement qui suivent presque sans interruption les lignes d'intersection. Ces lignes s'élèvent vers l'ouest en formant avec l'horizon des angles très-faibles, de 10 à 15 degrés; elles sont ramenées dans les galeries par les croiseurs plus récents, qui produisent sur les deux systèmes à peu près parallèles des rejets de sens contraire.

Les minerais des veines h. 5 ne passent pas ordinairement dans les croiseurs h. 4; dans ces veines, je n'ai observé qu'en un seul point des petites veinules de galène provenant d'une veine h. 5.

Le remplissage des croiseurs, quartz, pyrites altérées,

et schistes broyés, paraît avoir opposé une résistance énergique à toutes les réouvertures, dont l'effet s'est fait ressentir seulement dans les schistes, tantôt au toit, tantôt au mur des croiseurs. J'ai tracé dans la *fig.* 4, Pl. II, la coupe verticale, perpendiculaire à la direction h. 5, d'un croisement au premier étage, dans le quartier de l'ancienne Picadière. La veine h. 5, appartenant au filon A, est riche seulement au toit du croiseur; le minerai, à la teneur de 500 grammes en moyenne, est plaqué pour ainsi dire sur le toit du croiseur et s'élève à quelques mètres au-dessus du point de croisement, en remplissant de nombreuses fissures des schistes. La partie de la veine h. 5, qui est au mur du croiseur, est rejetée sur la droite, mais elle ne contient qu'une quantité presque insignifiante de minerai : elle se compose de plusieurs veinules irrégulières, contenant principalement du quartz et du carbonate de chaux. On voit, dans la *fig.* 4, la position des veines par rapport à la galerie du premier étage; il a fallu pour enlever tout le minerai au toit du croiseur faire une excavation considérable; à 3 mètres environ au-dessus de la galerie, la veine h. 5 a repris son allure habituelle.

Croisements des veines h. 5 *par les filons du système h.* 9. — Les croiseurs h. 9, diagonales des deux *grands filons du nord et du sud*, coupent très-nettement les veines du système h. 5, et généralement le minerai de ces dernières est arrêté aussi complétement que les fentes elles-mêmes. On ne doit pas en conclure que le remplissage quartzeux est postérieur à l'arrivée du minerai, mais bien seulement que le quartz de l'h. 9 a pu résister à toutes les réouvertures postérieures.

Cette opinion vient d'être confirmée tout dernièrement par l'exploration faite au niveau supérieur (*au Trou-du-Loup*) dans un travail abandonné depuis longtemps. On avait suivi autrefois, en partant de la surface, une veine appartenant au filon du *Chat* jusqu'à un grand croiseur h. 9; on avait ensuite abandonné le travail après avoir cherché

inutilement à retrouver le minerai de l'autre côté du croiseur.

En reprenant l'exploration, on a reconnu (voir Pl. II, *fig.* 8) deux nouvelles veinules h. 5, assez bien minéralisées, contenant de la galène à la teneur de 500 grammes, situées un peu au sud de la veine exploitée anciennement.

Le minerai de ces veinules se continue sans interruption au toit du croiseur h. 9, en formant une zone de $0^m,25$ d'épaisseur moyenne, plaquée contre le quartz et remplissant par conséquent une réouverture postérieure à l'arrivée du quartz dans l'h. 9. En suivant le minerai, on a été conduit jusqu'au deuxième croiseur h. 1, dans lequel la galène se continue encore pendant quelques mètres, sous forme de veinules au toit, et même dans l'intérieur du croiseur.

Croisement des veines h. 5 *par les grandes failles h.* 11. — Les grandes failles du système h. 11, plongeant vers l'ouest, ont apporté de grandes perturbations dans l'exploitation des veines h. 5; mais elles se trouvent dans un quartier dans lequel le minerai a été presque complétement enlevé depuis longtemps déjà; je n'ai pu étudier le croisement qu'en un seul point, au deuxième étage, pour une des veines du filon A. De plus, mes observations sont peu complètes, l'exploration actuelle ayant rencontré presque immédiatement les anciens travaux de la Picadière.

La veine du nord du filon A n'a pas d'épontes bien nettes; elle peut être comparée à un brouillage des schistes, dont les fissures sont remplies par les gangues et par le minerai, les schistes eux-mêmes étant traversés par des veinules, plus ou moins bien minéralisées. La faille h. 11 coupe nettement tout cet ensemble, et on ne voit aucune trace de gangue et de minerai dans l'argile noire qui couvre le mur de la faille.

Le rejet de la veine h. 5 est de quelques mètres (environ 6 mètres) sur la droite; vers l'ouest, c'est-à-dire au delà de la faille, la veine h. 5 présente les mêmes caractères qu'au mur; dans le brouillage h. 11, on ne voit du mine-

rai que dans les fissures des schistes : la gangue et la galène ne sont pas broyées. Le remplissage de la veine h. 5 est donc postérieur à la faille.

C'est là une observation importante sans doute, mais elle est insuffisante pour la détermination de l'âge relatif de ces failles h. 11, qu'il est impossible d'étudier d'une manière suffisante dans l'état actuel des travaux. La galène à la teneur de 500 grammes, étant plus récente que le remplissage barytique arrivé dans la direction h. 6, les failles h. 11 peuvent être d'une époque très-récente. Leur âge ne pourra être fixé que par l'observation des croisements avec les veines des divers systèmes plus modernes que l'h. 5. Il paraît y avoir une différence assez grande entre les failles 11 et les filons 10 à 11; malheureusement les deux systèmes sont connus sur un si petit nombre de points qu'il est impossible de faire entre eux une comparaison un peu certaine.

Croisements des veines h. 5 par les croiseurs h. 1. — Ces croisements ont été observés en différents points de la mine, principalement dans les kasths Villemereux, depuis le deuxième étage jusqu'à la surface; les veines h. 5 sont coupées très-nettement et rejetées d'un très-petit nombre de mètres, sur la droite par le premier croiseur et sur la gauche par le deuxième croiseur. Le minerai des veines h. 5 passe toujours, sans être coupé, dans les deux croiseurs, et forme des veinules plus ou moins importantes au toit et au mur, et dans l'intérieur même de la gangue quartzeuse. Ces veinules sont plus ou moins continues en hauteur et en direction; elles sont plus ou moins puissantes, mais elles se retrouvent en tous les points de croisement : je donne un exemple de cette disposition dans la *fig.* 5, Pl. II. Elle représente le croisement de l'une des veines du *Chat* par le *deuxième croiseur*, à un niveau un peu supérieur à celui du percement neuf. La veine h. 5 est composée de deux veinules de minerai (galène à la teneur de 500 grammes)

séparées par un très-faible intervalle de schistes, dans lesquels on voit encore de petites veinules secondaires. Le rejet par le croiseur a lieu sur la gauche, mais le minerai passe, sans être coupé, de l'h. 5 dans le croiseur, au toit, au mur et dans l'intérieur même de la gangue quartzeuse et ferrugineuse. Cette disposition du minerai dans les deux filons ne s'est pas continuée dans la hauteur; les veines h. 5 sont devenues plus pauvres, et les explorations n'ont plus été faites dans les veines correspondantes au toit et au mur du *deuxième croiseur*.

On n'a pas encore étudié le croisement des veines des *Combes* par les filons du système h. 1: plusieurs galeries de recherches ont été faites, à différents niveaux, dans le *deuxième croiseur* pour aller recouper ces veines : elles ont rencontré des veines minéralisées, dont la direction h. 6 avec plongée vers le nord, et la position, ne s'accordant pas avec la direction générale du faisceau des *Combes*. Ces veines h. 6 contiennent du minerai à la teneur de 350 grammes, et ce minerai passe également dans le croiseur.

Au deuxième étage, la gangue de carbonate de chaux cristallisé, qui est abondante dans le faisceau des *Combes*, se trouve en veine assez puissante, au mur du deuxième croiseur, à une distance considérable du filon h. 5. Le travail n'est commencé que depuis peu de temps, et je ne peux pas encore avancer que cette veine de carbonate de chaux se rattache certainement au filon métallifère. Je crois devoir signaler le fait, parce qu'il paraît démontrer l'indépendance du carbonate de chaux cristallisé et de la gangue argentifère. Ces matières minérales, arrivées très-probablement à la même époque, semblent avoir été produites par des sources différentes.

Croisements des veines h. 5 *par les filons h.* 3. — J'ai déjà indiqué précédemment les caractères généraux de ces croisements. Les fentes h. 5 sont nettement arrêtées par les

filons du système h. 3, et rejetées de quelques mètres; le minerai argentifère passe au contraire dans le croiseur, en formant des veines plus ou moins importantes et continues.

Au *Bosviel* et au *troisième croiseur*, le passage du minerai d'une même veine h. 8 dans le croiseur n'a pas lieu sur toute l'étendue de la ligne d'intersection; on observe, au contraire, des alternances assez régulières d'enrichissement et de stérilité du croiseur. Le même fait a dû être observé au *Bois-de-Petit;* mais je ne peux en juger que par les anciens documents et par les souvenirs des ouvriers : le minerai contenu dans le *Bois-de-Petit*, et dans les veines h. 5 qui ont enrichi ce filon, a été complétement enlevé plusieurs années avant mon premier voyage à Vialas. Je citerai seulement deux exemples de croisements, celui des veines du *Chat* par le *Bosviel*, à quelques mètres au-dessus du percement neuf, et celui des veines du *Chat* et des *Trois-Postes* par le *troisième croiseur*, à peu près au même niveau.

Au *Bosviel* (*fig.* 7, Pl. X), on n'a exploré que la branche du mur du croiseur, et on n'a pas cherché le rejet des veines h. 5 au toit de cette branche. La veine h. 5 est divisée en deux veinules; celle du mur perd peu à peu de sa puissance à l'approche du croiseur, et se réduit à une fente presque sans épaisseur appréciable; la veinule du toit plonge au nord sous un angle d'environ 80 degrés, à une douzaine de mètres du *Bosviel*. A l'approche du croiseur, la puissance du minerai augmente notablement, le sens de la plongée passe du nord au sud, et la veinule, puissante de $0^m,15$ à $0^m,25$, passe en courbe régulière au mur du *Bosviel;* elle se continue dans le filon h. 3 à une quarantaine de mètres du point de croisement. Dans l'intérieur même du croiseur, on voit une zone presque aussi longue, coupant nettement le remplissage quartzeux du *Bosviel*, et contenant la même gangue et la même galène que la veine

h. 5. De plus, l'angle obtus du croisement présente un brouillage dans les schistes, et toutes les fissures sont remplies de minerai. Au toit du croiseur, la salbande d'argile broyée, presque noire, ne contient pas une seule mouche de minerai.

J'ai déjà signalé précédemment pour le troisième croiseur un exemple encore plus curieux de réouverture; les deux veinules du *Chat* (*fig.* 6), à peine exploitables, ont conduit au toit du *troisième croiseur*, dans lequel le minerai (à la teneur de 500 grammes) forme une zone continue de $0^m,05$ à $0^m,40$ de puissance, parfaitement séparée du remplissage quartzeux du croiseur. Cette zone a 45 mètres environ de longueur et une vingtaine de mètres en hauteur.

Au nord des veines du *Chat*, on explore maintenant les veines des *Trois-Postes*, mieux minéralisées que les premières. Le minerai qu'elles contiennent passe également sans discontinuité dans le croiseur; là, dans les angles obtus du croisement des deux veines h. 5 par l'h. 3, les schistes sont broyés et les fissures remplies par le même minerai. Le mur du croiseur présente des salbandes d'argile noire, moins bien marquées que celles du toit au *Bosviel*, mais comme elles complétement stériles. Les veines h. 5 se retrouvent au mur, rejetées de 3 à 4 mètres sur la gauche, mais ce sont de simples veinules, presque sans épaisseur, à peine miné ralisées, et on n'en a pas encore fait l'exploration.

Veines des Combes. — Pour terminer la description des veines du système h. 5, j'indiquerai en peu de mots le résultat des travaux qui ont été faits jusqu'à présent, au premier étage, dans le filon des *Combes* (*fig.* 9). En prolongeant au sud le percement du Colombert, on a d'abord rencontré une veine A, dirigée h. 5, plongeant au nord sous un angle d'environ 80 degrés, contenant seulement de la pyrite avec un peu de carbonate de chaux. On l'a explorée seulement sur quelques mètres de longueur à l'est du percement. La même veine a été coupée, à une assez grande

distance à l'ouest, par une traverse au sud, faite au toit du *quatrième croiseur*, et ensuite par une autre traverse au deuxième étage, également faite à l'ouest du Colombert ; de ce côté, elle présente une fente assez puissante ou plusieurs veinules bien minéralisées ; le remplissage est toujours le carbonate de chaux accompagné de pyrites, ou le sulfate de baryte. La continuité de cette veine est ainsi bien assurée. Sa direction s'éloigne peu de l'h. 5.

A quelques mètres au sud, le percement du Colombert a rencontré la veine principale B, réunion de plusieurs veinules très-rapprochées, contenant du carbonate de chaux cristallisé et de la galène grenue, dont la teneur en argent dépasse 500 grammes aux 100 kil. de plomb. La direction de cette veine est à peu près h. 5 sur plus de 40 mètres de longueur, tant à l'ouest qu'à l'est du percement. Vers l'ouest, la veine se divise en deux autres, dont la direction se rapproche un peu de l'h. 4 : l'une d'elles est presque verticale, et sa puissance va en diminuant progressivement jusqu'au croiseur D, h. 10 à 11, au delà duquel on n'a fait encore aucune exploration (1862). La seconde veine se sépare de la première seulement à quelques mètres au-dessus du premier étage et s'éloigne beaucoup plus de la verticale : c'est la *veine couchée*, très-riche en minerai, contenant également de la galène et du carbonate de chaux. Elle diminue de richesse auprès du croiseur D, et on ne l'a pas encore recherchée au toit de ce croiseur. La teneur en argent de la galène, dans la veine verticale et dans la veine inclinée, varie entre 500 et 600 grammes.

La veine EF, dans laquelle l'exploration est maintenant poussée vers l'ouest, a été rencontrée par la traverse sud faite au toit du *quatrième croiseur*, et ensuite par une traverse nord poussée dans le croiseur D. Le rejet par ce croiseur est très-faible, de quelques décimètres sur la droite. Le croiseur h. 11 ne contient pas de minerai ; son remplissage est du quartz carié, mélangé avec des schistes broyés ; il ap-

partient évidemment au système h. 10 à 11. La veine EF est explorée maintenant sur plus de 100 mètres de longueur et sur une vingtaine de mètres en hauteur; vers l'est, elle se rapproche de plus en plus de la veine A, elle se réunit avec cette veine auprès du percement : vers l'ouest, la direction est presque intermédiaire entre l'h. 4 et l'h. 5; la plongée est toujours vers le nord, et la veine semble devenir tout à fait verticale à mesure qu'on avance à l'ouest.

La division en veinules est bien moins prononcée que dans la veine B; on suit sur toute la longueur explorée une veine principale, dont la puissance est de $0^m,10$ à $0^m,40$, accompagnée d'une ou de deux veinules qui se trouvent tantôt au toit, tantôt au mur. La veine principale présente seule quelques géodes tapissées de carbonate de chaux en beaux cristaux; la galène est grenue, très-brillante; sa teneur en argent varie entre 600 et 700 grammes. Vers l'ouest, la veine principale contient un peu de sulfate de baryte rose, mais la galène n'est pas mélangée avec le sulfate de baryte aussi intimement qu'avec le carbonate de chaux.

A l'est du percement, la veine B est divisée fréquemment en plusieurs veinules, assez bien minéralisées, mais fort irrégulières. On a suivi d'abord celle qui passe pour la plus importante et qui doit même être considérée comme la veine principale à cause des géodes qu'elle présente d'une manière à peu près continue; il est très-probable qu'une autre veine G existe plus au sud, et des travaux sont commencés pour la rechercher. La veine B prend une direction voisine de l'h. 4 auprès du troisième croiseur et la conserve à l'est; le croiseur a produit un rejet très-faible; il est difficile de voir dans quel sens a lieu le rejet. Le minerai est en assez grande abondance, se reliant sans discontinuité à celui de la veine B. La galerie de niveau, poussée en avancement dans la veine B à une centaine de mètres du percement, a dévié dans une des veinules L, qui s'est trouvée, peut-être momentanément, réduite à de simples fissures ne contenant

plus de minerai. Par un bout de traverse au nord, on a bientôt retrouvé une autre veine M très-riche en galène argentifère, et l'avancement à l'est est repris.

Dans presque toute la longueur (environ 100 mètres) de cette partie BHL, on distingue la veine principale, accompagnée de veinules secondaires, nombreuses surtout près du *troisième croiseur :* la seule gangue est le carbonate de chaux cristallisé ; la galène grenue ou cristalline est très-riche en argent, car les nombreux échantillons qui ont été soumis à l'essai ont donné de 500 à 700 grammes d'argent par 100 kil. de plomb : c'est seulement à une trentaine de mètres du point où la galerie L a été arrêtée que la veine principale cesse d'être visible, et c'est là certainement que les ouvriers l'ont quittée pour suivre une veinule du mur. La veine principale est un peu plus au nord, et diffère notablement de celle qui a été suivie depuis le percement du Colombert ; elle est tout aussi puissante, elle renferme de la galène de même richesse, mais la gangue principale est du sulfate de baryte rose, analogue à celle que renferme le filon à 200 mètres plus à l'ouest.

Ces détails sur les veines *des Combes* donnent une idée certainement imparfaite de l'allure du filon ; mais ils permettent de comprendre les difficultés que présente leur exploration : on n'est jamais certain de ne pas laisser de côté une veinule qui peut être très-riche en minerai, même lorsqu'on observe avec l'attention la plus grande toutes les indications que présentent les parois des galeries et des kasths. Il est indispensable de multiplier les traverses perpendiculaires à la direction du filon, et souvent de les pousser à une très-grande longueur au nord et au sud.

Croiseurs du système h. 4. — Le remplissage des veines h. 4 est un mélange de quartz et de schistes broyés, avec pyrites de fer altérées jusqu'à une grande profondeur au-dessous de la surface. Dans les nombreux croisements qui ont été rencontrés par les travaux, les matières de remplis-

sage ne passent pas dans les fentes appartenant à des systèmes plus anciens : on ne les retrouve pas non plus dans les croiseurs plus récents. Le remplissage est donc contemporain des fentes elles-mêmes, ou bien il s'est fait peu de temps après l'ouverture des fentes. De plus, les veines h. 4 ont résisté à toutes les réouvertures, qui sont si nombreuses dans les veines du système h. 5.

Les croiseurs de ce système h. 4 ont donc (à Vialas seulement, car dans d'autres localités de la Lozère les faits observés sont bien différents) des caractères particuliers. Remplis au moment de leur formation, ils coupent nettement les filons h. 6 à 7 et h. 5, et sont coupés avec la même netteté par les croiseurs et par les fentes d'une époque plus récente. C'est là du reste la seule observation importante qu'il me paraisse utile d'ajouter à ce que j'ai dit précédemment sur ces filons stérile

CROISEURS QUARTZEUX H. 9. — J'ai déjà décrit les croisements les plus intéressants des veines h. 9, et j'ai donné des indications suffisantes sur leur allure générale ; il me reste ici à présenter quelques considérations sur les époques auxquelles sont arrivées les diverses matières minérales que contiennent les deux grands *filons du Nord et du Sud*, et leurs diagonales en h. 9.

Le remplissage principal est le quartz blanc laiteux parfaitement pur, ou bien empâtant des fragments de schistes. Ce quartz ne pénètre dans aucun des croiseurs plus récents, pas même dans les veines h. 1 et h. 3, qui ont cependant présenté aux réouvertures postérieures des facilités remarquables. On trouve au contraire le quartz brisé dans les failles du système h. 11, mais on ne peut en tirer aucune conclusion, si ce n'est que les failles h. 11 sont plus récentes que les filons h. 8 à 9. On doit admettre que le remplissage quartzeux est à peu près contemporain des fentes elles-mêmes, ou bien que le quartz est arrivé dans les grands filons du Nord et du Sud, et dans leurs diagonales, à une

époque qui est comprise entre la production des fentes h. 8 à 9 et celle des filons h. 1.

Les filons quartzeux contiennent par places des matières minérales différentes, de la galène peu argentifère, mélangée de blende et de pyrite de fer, de la galène plus ou moins riche en argent et du sulfate de baryte; il importe d'examiner à quelles époques ces matières sont arrivées dans les filons. En plusieurs points, la galène pauvre, mélangée de blende et de pyrite, forme des veinules ou des veines qui coupent nettement le quartz, ou bien sont placées au toit ou au mur des veines quartzeuses; mais en d'autres points les mêmes sulfures sont disséminés sous forme de mouches dans le quartz lui-même. On doit donc admettre que toutes ces substances minérales sont arrivées à la même époque, le quartz et les sulfures métalliques étant fournis par des sources différentes.

La galène plus argentifère et le sulfate de baryte ne se trouvent qu'auprès des croisements des veines h. 5 et des veines h. 6 : ils constituent des veines plus ou moins puissantes dans le quartz ou à côté du quartz; on ne les voit jamais disséminés dans le quartz lui-même. De plus, la teneur en argent est la même pour les veines contenues dans l'intérieur des filons quartzeux et pour les veines h. 5, qui sont coupées par ces filons. Ces matières minérales ont évidemment rempli des réouvertures postérieures à la formation des fentes h. 8 à 9 et h. 9, et à leur remplissage par le quartz.

Pour déterminer les époques d'arrivée de ces matières, il faut se reporter à ce que j'ai dit précédemment pour les filons h. 5 et pour les filons h. 6 à 7. L'arrivée de la galène argentifère est certainement le fait le plus récent. Les arrivées à des époques différentes du quartz, du sulfate de baryte et de la galène argentifère s'observent dans d'autres points de la Lozère peut-être encore plus nettement qu'à Vialas. Je citerai notamment la mine de *Bluech* : là on ex-

ploite dans un grand filon quartzeux, h. 7 à 8, des veinules de galène à 500 gr. traversant le sulfate de baryte, qui lui-même forme des veines très-puissantes dans le quartz.

FILONS APPARTENANT AUX SYSTÈMES H. 1 ET H. 3. — Pour les filons croiseurs de ces deux systèmes h. 1 et h. 3, je n'ai que de très-courtes observations à présenter sur les matières de remplissage. Les âges relatifs des fentes sont clairement établis par un petit nombre de croisements qu'on a pu observer à la surface et dans les travaux. Les filons h. 3 sont les plus récents; le remplissage est au contraire à très-peu près le même dans les deux systèmes. Dans tous les deux, on voit comme matière principale du quartz un peu carié, d'une assez grande dureté, coloré avec plus ou moins de régularité par du peroxyde de fer. Les salbandes d'argile presque noire ont une puissance variable, elles sont plus développées dans certaines parties des filons du système h. 3. Cette analogie me porte à penser que le remplissage s'est fait à peu près à la même époque dans les deux systèmes; il a eu lieu un certain temps après la formation des fentes h. 3, car on ne retrouve pas les matières qui le composent dans les croiseurs plus récents.

Les deux systèmes de croiseurs ont subi des réouvertures dont j'ai indiqué précédemment les caractères principaux : il est inutile de revenir sur ce sujet. Je constaterai seulement que pour ces réouvertures, comme pour la pénétration de la baryte et du minerai riche en argent, les deux systèmes de croiseurs présentent une analogie qui confirme encore l'opinion que je viens d'émettre, que leur remplissage s'est fait à la même époque.

Il me reste à énoncer les raisons qui me font penser que le remplissage a eu lieu seulement après la formation des fentes h. 3. Toutes les veines des deux systèmes présentent des salbandes, et celles-ci sont composées d'argile noire ou grise, provenant évidemment des schistes encaissants broyés et comprimés. Elles sont, au moins dans une grande partie

des filons, nettement séparées du remplissage quartzeux; elles n'ont pu être produites que par les mouvements de terrain, par le frottement des épontes l'une sur l'autre, au moment où les fractures ont eu lieu. Ces salbandes ne seraient pas restées en place si les fractures s'étaient ouvertes de suite à la largeur qu'ont maintenant les veines. Par conséquent la gangue quartzeuse et ferrugineuse est déjà venue remplir de premières réouvertures, postérieures à la formation des fentes ou fractures h. 3, antérieures à celles dans lesquelles ont pénétré le sulfate de baryte et le minerai riche en argent.

Dans les croiseurs du système h. 4 les schistes brisés sont mélangés irrégulièrement avec la gangue ferrugineuse; les salbandes ne sont pas nettes comme dans certaines parties des filons h. 3 et h. 1 : on ne peut donc pas avancer, pour l'heure 4 comme pour les deux derniers systèmes que je viens de considérer, que le remplissage est postérieur à la formation des fentes; il peut être contemporain.

Filons h. 6. — Les veines qui appartiennent à ce système sont trop peu connues au moment actuel pour que je puisse entreprendre de les décrire avec détails; leur direction et leur remplissage se rapprochent beaucoup de ceux des veines les plus anciennes, du système h. 6 à 7; la distinction entre les deux natures de filons n'a pu être établie que tout récemment, et en un seul point des travaux.

Le fait le plus saillant qui résulte de l'existence d'un système de veines h. 6, remplies par du sulfate de baryte, et postérieures aux croiseurs h. 3, est l'indication de l'âge relatif du sulfate de baryte. Ces veines h. 6 ne présentant pas de salbandes, on peut admettre que le dépôt du sulfate de baryte et la formation des fentes sont des phénomènes contemporains. La direction h. 6 prend ainsi une importance considérable; c'est celle de l'arrivée du sulfate de baryte, qui a pénétré dans les réouvertures nombreuses que présentent presque tous les systèmes plus anciens, h. 3, h. 1,

h. 8 à 9, h. 5, h. 6 à 7. Dans tous on voit le sulfate de baryte passer sans être coupé, et former des veines souvent très-puissantes. Le même fait a été observé dans différentes localités de la Lozère, et jusque dans le Gard pour les filons qui traversent les calcaires et les dolomies du trias, près de Notre-Dame-de-la-Garde.

L'âge du sulfate de baryte est ainsi déterminé d'une manière certaine, et l'époque de son arrivée est très-récente, ainsi que je le dirai bientôt en faisant la comparaison des filons de Vialas avec les systèmes géologiques qui ont marqué leur trace sur la surface du globe.

J'ai déjà signalé précédemment la présence du minerai riche en argent dans une veine h. 6, et la conséquence importante qu'on doit en tirer, que l'arrivée de la galène très-argentifère est postérieure au remplissage barytique.

Croiseurs des systèmes h. 10 à 11. — Les veines de ce système sont, comme les précédentes, encore peu connues ; leur étude présente cependant un grand intérêt, et il est à désirer que les travaux d'exploitation permettent de reconnaître si ces veines contiennent en réalité de la galène plus ou moins argentifère et du sulfate de baryte. Ainsi que je l'ai dit précédemment, les croiseurs remplis, dirigés sur l'h. 10 à 11, paraissent différer complétement des failles de la Picadière, bien que les directions des deux systèmes soient à peu près identiques. Dans l'état actuel des travaux faits dans la mine on peut seulement affirmer que les croiseurs h. 10 à 11 sont plus récents que les filons h. 3, et que leur remplissage est à peu près contemporain de la formation des fractures. Peut-être doivent-ils être placés entre les filons h. 3 et les filons h. 6.

Je n'ai rien à dire ici au sujet des fentes nord-sud, et des glissements de terrain, qui représentent certainement les fractures les plus modernes à Vialas.

§ 5. *Comparaison des filons avec les systèmes de montagnes.*

Les filons observés à Vialas se retrouvent avec leurs caractères principaux dans tout le terrain schisteux qui entoure le massif granitique de la Lozère. On reconnaît encore les mêmes directions dans les failles du terrain houiller de la Grand-Combe, de Trelys, de Bességes, etc. Les filons anciennement exploités dans le trias, auprès de Notre-Dame-de-la-Garde (Gard), offrent encore la plus grande analogie avec ceux de Vialas. Il est par conséquent impossible de restreindre à une localité particulière les faits dont j'ai rendu compte dans les premiers paragraphes ; ils se rattachent évidemment aux grands phénomènes géologiques. Dans le but de vérifier cette relation j'ai calculé les directions rapportées à Vialas (latitude 44° 19′ 30″, longitude 1° 33′ 20″ à l'est de Paris) des principaux systèmes de montagnes, admis actuellement par les géologues, et j'ai cherché à quels systèmes on pouvait rapporter les filons métallifères ou stériles de Vialas.

Dans la comparaison des filons aux systèmes de montagnes je laisse d'abord de côté les failles h. 11 et les filons dirigés sur l'h. 10 à 11, pour lesquels les travaux actuellement exécutés ne donnent pas des renseignements suffisants.

Les filons, croiseurs, etc., observés à Vialas, et considérés seulement au point de vue des fractures se rangent dans l'ordre suivant :

1° Les filons	h. 6 à 7 (magnétique). Direction vraie.	E. 11° N.
2°	—	h. 5.	E. 33° 30′ N.
3°	—	h. 4.	N. 41° 30′ E.
4°	—	h. 8 à 9.	O. 19 à 20° N.
5°	—	h. 1.	S. 3° 30′ E.
6°	—	h. 3.	N. 26° 30′ E.
7°	—	h. 6	E. 18° 30′ N.
8° Fentes.		N.-S	N. 18° 30′ O.

Ce tableau comprend toutes les fractures observées à Vialas à l'exception : 1° des glissements de terrain, dirigés à peu près de l'est à l'ouest avec plongée vers le nord; 2° des failles h. 11, plongeant vers l'ouest; 3° des filons h. 10 à 11, à peu près verticaux, et plongeant vers l'ouest. Les glissements de terrain sont très-modernes. Les failles h. 11 coupent les filons h. 5, et sont antérieures à l'arrivée du minerai riche, mais ces renseignements ne suffisent pas pour déterminer leur âge véritable. Les filons h. 10 à 11 sont certainement postérieurs aux fractures h. 3.

Les matières minérales diverses ont pénétré dans les fentes aux époques suivantes :

1° Quartz et pyrites des filons h. 4, au moment de la formation des fentes h. 4, ou à une époque très-peu postérieure;
2° Galène pauvre, quartz et carbonate de chaux, dans quelques veinules h. 5, très-probablement à une époque antérieure aux fractures h. 8 à 9;
3° Quarz blanc laiteux des filons h. 8 à 9, avec pyrites, blende et galène pauvre en argent, au moment ou peu de temps après la formation des fractures h. 8 à 9;
4° Quartz ferrugineux des filons h. 1 et h. 3, quelque temps après la formation des fractures h. 3;
5° Sulfate de baryte, blanc, laiteux, cristallin; au moment de la formation des fractures h. 6, ou peu de temps après;
6° Galène à 150 gr. d'argent, carbonate de chaux blanc, opaque;
— 250 gr. d'argent, quartz et carbonate de chaux, blanc, opaque;
— 350 gr. d'argent, quartz à grains fins, carbonates de chaux et de fer;
— 500 gr. d'argent, quartz et carbonate de chaux cristallin;
— 700 gr. d'argent, carbonate de chaux cristallisé, baryte rose.

Ces minerais se sont répandus principalement dans les veines h. 5; ils ont pénétré dans les filons h. 6 à 7, dans les croiseurs h. 1 et h. 3. Pour les trois premiers l'arrivée dans les filons est postérieure à l'h. 3; pour les deux der-

niers elle se place entre la formation des fractures h. 6 et des fentes N.-S. magnétique.

Directions des principaux systèmes de montagnes, rapportées à Vialas.

Système de la Vendée	N.	18°	58′	34″,50	O.
—	Finistère	E.	14°	29′	7″	N.
—	Longmind	N.	27°	54′	38″	E.
—	Morbihan	O.	42°	57′	57″	N.
—	Westmoreland et Hundsruek	E.	33°	13′	11″	N.
—	Ballons	O.	12°	49′	38″,7	N.
—	Forez	N.	15°	51′	15″	O.
—	Nord de l'Angleterre	N.	0°	4′	52″	O.
—	Pays-Bas	E.	7°	30′	51″,65	N.
—	Rhin	N.	17°	34′	41″,75	E.
—	Thuringerwald	O.	35°	17′	19″,30	N.
—	Mont Seny	N.	55°	24′	30″	E.
—	Côte-d'Or	E.	45°	20′	50″ 66	N.
—	Mont Viso	N.	25°	1′	25″	O.
—	Pyrénées	O.	17°	42′	30″	N.
—	Corse et Sardaigne	N.	4°	49′	28″	O.
—	Tatra	E.	7°	56′	56″,50	N.
—	Sancerrois	E.	31°	39′	10″,50	N.
—	Vercors	N.	6°	2′	6″	E.
—	Alpes occidentales	N.	25°	46′	18″	E.
—	Mont Sera	N.	40°	42′	17″,30	O.
—	Alpes principales	E.	17°	51′	58″,67	N.
—	Tenare	N.	18°	18′	38″,23	O.

Les huit systèmes de fractures que j'ai signalées ci-dessus comme étant parfaitement classées, à Vialas, par les croisements observés, peuvent être rapportés aux systèmes de montagnes suivants :

					Différence des directions.		
1°	Fractures	h. 6 à 7,	au système du	Finistère	3°	29′	7″,00
2°	—	h. 5	—	Westmoreland	»	16	49,00
3°	—	h. 4	—	Côte-d'Or	5	8	9,34
4°	—	h. 8 à 9	—	Pyrénées	2	»	»
5°	—	h. 1	—	Corse et Sardaigne	1	18	28,00
6°	—	h. 3	—	Alpes occidentales	»	43	42,00
7°	—	h. 6	—	Alpes principales	»	38	21,00
8°	—	N. S	—	Ténare	»	19	11,00

Les filons h. 10 à 11 ne peuvent être rapportés qu'au système du mont Sera, ce qui les ferait considérer comme un peu plus anciens que les filons barytiques h. 6.

Pour les huit directions de fractures dont les âges relatifs sont parfaitement constatés, la comparaison aux systèmes de montagnes laisse bien peu à désirer. Il n'y a une différence un peu appréciable que pour deux d'entre eux, pour les filons h. 6 à 7, et pour les filons h. 4. La différence est même tout à fait négligeable pour le premier des deux, car les veines h. 6 à 7 ont été tellement dérangées par les croiseurs qu'on ne représente pas (à Vialas) leur direction par un nombre entier d'heures ; ces veines ne sont d'ailleurs explorées que sur une faible longueur, et l'on ne peut assigner leur direction exacte à 3 ou 4 degrés près.

Pour les veines h. 4, comparées au système de la Côte-d'Or, la différence des directions est assez grande, et ne peut pas être expliquée par une observation insuffisante des veines ; l'une d'entre elles au moins a été suivie sur une grande longueur, ce qui a permis de prendre sa direction avec une erreur inférieure à 5 degrés. Je ne chercherai pas à expliquer cette différence, qui en somme n'a rien d'extraordinaire dans un terrain aussi disloqué que le sont les schistes de Vialas. On devrait plutôt s'étonner de la coïncidence presque parfaite que présentent les directions des autres filons avec les systèmes de montagnes, et surtout de la concordance remarquable qui existe entre la nature des fractures et les systèmes de montagnes qui ont dû avoir la plus grande influence sur la dislocation des schistes de la Lozère.

Les fentes h. 5 sont nombreuses, mais elles n'ont été remplies que longtemps après leur formation ; au moment où elles se sont produites elles sont restées à l'état de simples cassures, il n'y a même pas eu de frottement des parois. Elles se trouvent être rapportées, d'après la comparaison précédente, au système du Westmoreland, dont l'ac-

tion principale s'est fait sentir à une distance assez grande de la Lozère.

Les filons h. 8 à 9 sont les plus importants comme puissance et comme continuité; le système des Pyrénées, auquel je les rapporte, a dû en effet exercer une action très-grande sur toute la contrée.

Les filons h. 1 ont une importance bien moindre que les précédents; le système de Corse et de Sardaigne est en effet plus éloigné, et n'a pas pu exercer des effets aussi marqués que le système des Pyrénées.

Les filons h. 5 sont, après les filons quartzeux, ceux qui ont le plus de continuité; ils sont très-nombreux et très-rapprochés; ils se rapportent au système des Alpes occidentales, qui a produit, à une distance relativement assez faible, des mouvements de terrain d'une grande importance.

Les filons h. 6, encore peu étudiés, ont assurément une grande importance, puisque leur direction répond à l'arrivée du sulfate de baryte, presque aussi abondant que le quartz de l'h. 8 à 9. Ces filons, les réouvertures et le remplissage barytique se rattachent au système des Alpes principales, dont le prolongement passe à une distance assez faible de la Lozère.

Enfin les fentes nord-sud, très-nombreuses et non remplies, produisant de très-faibles rejets, s'expliquent très-bien par des oscillations du sol, transmises à longue distance, et par conséquent se rapportent sous tous les rapports au système du Tenare ou des volcans modernes.

Il me paraît difficile, d'après toutes ces considérations, de ne pas considérer comme suffisamment justifiés les rapprochements indiqués par le tableau de la page précédente. On en tire une conclusion très-importante relativement à l'arrivée des minerais argentifères; les sources minérales qui les ont amenés dans les filons sont contemporaines des dépôts des assises les plus élevées des terrains tertiaires : celles qui ont

déposé les minerais les plus riches en argent sont même postérieures à tous ces terrains.

Il y a lieu d'être surpris de ne pas voir à Vialas des filons ou des failles se rapportant au système des Ballons, lequel est représenté dans la Lozère et même dans le terrain houiller du Gard. Peut-être faudrait-il attribuer au système des Ballons la formation primitive des fentes dirigées sur l'h. 8. Les grands filons quartzeux seraient alors le résultat de réouvertures et du remplissage, se rapportant au système des Pyrénées, et bien postérieurs aux fractures premières. J'espère éclaircir plus tard cette question théorique par l'examen plus attentif des croisements des filons h. 4 par les veines quartzeuses appartenant au système h. 8 à 9.

CHAPITRE II.

PRÉPARATION MÉCANIQUE ET TRAITEMENT MÉTALLURGIQUE.

Le complément indispensable de la description qui précède est l'énoncé de la richesse en plomb et en argent des filons mis en exploitation; je ne peux faire la comparaison des produits obtenus avec le nombre de mètres cubes abattus sans donner quelques indications sur le mode de préparation mécanique et de traitement métallurgique. Il est du reste inutile d'entrer à ce sujet dans de grands détails : on n'emploie pour préparer les minerais que des appareils parfaitement connus de tous les ingénieurs; quant au traitement métallurgique, je l'ai déjà décrit complétement dans un ouvrage spécial (*Principes généraux du traitement des minerais métalliques*, 2e vol.).

§ 1. *Préparation mécanique.*

L'abatage des minerais dans les divers chantiers d'exploitation (dans les *kasths*, comme on les nomme à Vialas)

donne deux produits essentiellement différents, les morceaux et les menus : les morceaux un peu gros peuvent seuls être soumis dans la mine à un premier triage, qui élimine une faible partie des matières stériles. Les morceaux qui ne contiennent certainement pas de minerais restent comme remblai, et servent à élever progressivement le sol des gradins ; tous les menus doivent être roulés au jour.

Ces deux matières différentes, morceaux contenant ou pouvant contenir du minerai, et menus d'une richesse très-variable, sont amenés au deuxième étage, et conduits aux ateliers de cassage et triage : ceux-ci sont établis à l'entrée du percement, sur le versant nord de la montagne du Bosviel. Les ateliers ont deux niveaux, distants d'environ 3 mètres : en haut est le cassage, en bas se trouve le triage.

Cassage. — Lavage. — Les morceaux sont couverts de boue ; il est impossible de distinguer ceux qui sont riches de ceux qui ne contiennent que des mouches de galène ; on doit les traiter tous de la même manière, bien qu'il y ait à cela un inconvénient très-grave, celui d'écraser une certaine quantité de morceaux assez riches pour être envoyés directement à la fonderie.

Les minerais sont cassés par des enfants, armés de marteaux légers à longs manches : la limite supérieure pour les dimensions des morceaux cassés est de $0^m,05$, c'est-à-dire que les plus gros morceaux doivent pouvoir passer à travers un anneau de $0^m,05$ de diamètre. La totalité des minerais, morceaux et menus est alors jetée à la pelle sur des glissières à grilles, inclinées à 45° ; les trous des grilles sont carrés ; ils ont $0^m,025$ de côté.

La plus grande partie des menus tombe par ces trous sur le sol de l'atelier de triage : on les enlève à la brouette pour les transporter au couloir spécial des menus A, établi sur le flanc de la montagne à proximité des ateliers. Les morceaux et le reste des menus tombent sur des grilles horizontales, placées au milieu des tables de triage, et surmontées

de bacs en bois percés de petits trous, amenant l'eau nécessaire au lavage; les ouvertures des grilles ont encore $0^m,025$ de côté. Deux femmes, pour chaque table, sont chargées du lavage : armées de raclettes en fer, elles retournent les morceaux, sous l'eau qui tombe en pluie verticale, jusqu'à ce que toute la boue soit enlevée : elles forcent en même temps les morceaux suffisamment petits à traverser les trous de la grille.

Il ne reste sur les tables, pour le triage, que les morceaux dont les dimensions sont comprises entre $0^m,05$ et $0^m,025$. Les boues, les sables et les petits morceaux sont reçus sur des grilles inclinées, dont les trous sont beaucoup plus petits que ceux des grilles horizontales : on sépare ainsi une seconde partie des menus, qu'on transporte à la brouette au couloir A.

Sous les grilles inclinées sont de petits bassins dans lesquels s'arrêtent les sables; ceux-ci sont enlevés à la pelle et transportés encore au même couloir.

Enfin les matières les plus fines sont entraînées par l'eau dans des bassins de dépôt, dans lesquels restent des boues assez pauvres; l'eau s'écoule ensuite sur le flanc de la montagne, entraînant encore des matières fines; mais celles-ci sont tellement pauvres qu'on peut considérer la perte comme négligeable.

Les boues sont enlevées à des intervalles nécessairement irréguliers, et transportées à la brouette dans un couloir B voisin du premier, et réservé aux minerais en morceaux très-pauvres, dits minerais de bocard.

TRIAGE. — Les morceaux lavés qui restent sur les tables sont soumis au triage : les femmes sont exclusivement chargées de ce travail; elles font les classes suivantes : 1° minerai riche; 2° minerai moyen n° 1; 3° minerai moyen n° 2; 4° minerai pauvre ou de bocard; 5° stérile.

Minerai riche. — Les morceaux riches provenant du triage, et ceux (en très-petite quantité) qu'on peut sous-

traire au cassage sont soumis à un scheidage. On les divise en deux qualités : le *massif*, dont la teneur réglementaire est de 50 p. 100 de plomb à l'essai par voie sèche, mais qui est ordinairement encore plus riche; le *minerai moyen* n° 1; ce dernier est réuni à celui qui provient du triage. Les menus que donne le cassage sont envoyés à l'usine en même temps que le *massif*: comme cette qualité n'est pas abondante, on ne lui a pas réservé de couloir spécial; on la transporte par charrette jusqu'à la fonderie.

Minerai moyen n° 1. — On range dans cette classe les morceaux qui contiennent trop de gangue pour qu'on puisse les passer au scheidage, mais qui renferment la galène en veinules un peu puissantes, et tels qu'on puisse en retirer des grenailles très-riches par criblage, après un premier bocardage gros, les barreaux de la grille du bocard étant espacés de $0^m,025$.

Minerai moyen n° 2. — Ce minerai est analogue au précédent, mais un peu moins riche, et principalement la galène est moins condensée, en sorte qu'il faut les bocarder avec une grille à barreaux plus rapprochés pour obtenir au criblage des grenailles suffisamment riches. Chacune de ces deux classes a son couloir particulier.

Minerai pauvre ou de bocard. — Cette catégorie comprend tous les morceaux qui contiennent de la galène trop disséminée pour qu'on puisse la bocarder à la grille; leur richesse est extrêmement variable : les uns contiennent seulement des mouches de galène, tandis que d'autres rendraient à l'essai plus de 20 p. 100 de plomb. Il est d'ailleurs impossible d'éviter que les femmes mettent dans cette classe un assez grand nombre de morceaux tout à fait stériles. Le seul moyen véritablement efficace de remédier à cette irrégularité est de soumettre tout le minerai de bocard à un scheidage, suivi d'un nouveau triage.

Cette opération n'a pas encore été appliquée par divers motifs : le principal a été la crainte de causer dans le travail

des ouvriers une perturbation nuisible, par l'introduction d'un changement trop radical. On a préféré procéder par modifications successives. Au moment actuel le minerai de bocard est cassé par des gamins, avec des marteaux à manches très-courts, en morceaux dont les plus grandes dimensions ne dépassent pas $0^m,025$. Ces morceaux passent de nouveau au triage sur une table spéciale.

Le résultat obtenu est déjà très-favorable; on parvient à séparer une quantité très-grande de stérile, et même à produire un peu de minerai moyen. Le travail donne en outre des menus qui sont portés au couloir A. Le minerai de bocard définitif est transporté au couloir B.

Stérile. — Les morceaux considérés d'abord comme stériles sont amenés sur des tables placées devant les fenêtres de l'atelier, et soumis à un second triage avant d'être jetés. Ce travail est fait par les femmes les plus habiles : il permet de retirer encore une certaine quantité de morceaux contenant des mouches de galène.

Après ce second triage, le stérile est jeté sur le flanc de la montagne, dont la forme profondément ravinée se prête heureusement à recevoir un cube énorme de déblais.

Les ateliers du triage ont été construits à une assez grande hauteur au-dessus du sol de l'usine; la différence de niveau a permis de transporter très-économiquement les minerais jusqu'à la préparation mécanique proprement dite, établie à côté de l'usine.

Au-dessous des couloirs du triage se trouve un chemin de fer, qui se développe à pente très-douce sur le flanc de la montagne, et vient se terminer au-dessus de l'usine, à la tête de nouveaux couloirs correspondant aux premiers. Au pied des couloirs de l'usine, des lignes de chemins de fer permettent de faire arriver les wagons au-dessus des différents ateliers. Bien qu'il y ait pour toutes les matières deux chargements et deux déchargements des wagons, les manœuvres se font avec simplicité et avec économie.

PRÉPARATION MÉCANIQUE. — Les minerais arrivant du triage aux ateliers de préparation mécanique, sont divisés en cinq classes : 1° *massif*, 2°, 3° *minerai moyen n° 1 et n° 2*, 4° minerai de bocard, 5° menus des mines. Ces minerais sont soumis à des élaborations différentes, en partie dans des ateliers séparés, en partie dans les mêmes ateliers, car la configuration du terrain n'a pas permis de donner aux constructions la disposition et le développement qui auraient été nécessaires.

MINERAI MASSIF. — Les morceaux de minerai qui sont suffisamment riches pour être fondus sans préparation, sont réduits en sable fin sous les pilons d'un bocard à sec. Les matières écrasées glissent sur des tôles inclinées, percées de trous de 0m,0025 de diamètre; les gros grains sont remontés à la pelle sous les pilons. Les minerais envoyés au magasin des schlichs sont ainsi un mélange de poussière fine et de sables, dont les plus gros grains ont 0m,0025 de diamètre.

MINERAI MOYEN N° 1. — Les morceaux du minerai moyen n° 1 sont d'abord bocardés à l'eau; la grille placée devant les pilons se compose de barreaux verticaux, espacés de 0m,025; le courant d'eau est assez fort pour faire passer à travers la grille tous les grains qui sont amenés à la dimension convenable, sans les laisser séjourner sous les pilons. Les matières entraînées par l'eau tombent en avant du bocard dans une série de bassins de débourbage, dans lesquels un ouvrier, travaillant à la pelle, retire les grenailles et les sables en mettant les matières fines en suspension.

Ces dernières sont recueillies dans deux séries de petits et de grands bassins; ces derniers sont vidés seulement une fois par an; les premiers, dans l'atelier des tables à secousses, sont vidés plus fréquemment. Ce premier bocardage donne quatre produits : 1° les gros sables et les grenailles; 2° les sables fins du débourbage; 3° les sables plus fins des petits bassins; 4° les matières fines ou bourbes.

Matières fines ou bourbes. — Les bourbes retirées des bas-

sins de dépôt sont ordinairement très-riches : on les sèche partiellement à l'air ou près des fours de grillage, et on les transporte au magasin des schlichs. On ne cherche pas à les enrichir.

Sables fins. — Les sables retirés du second compartiment de débourbage sont traités au caisson allemand, et donnent, après un travail très-simple, du schlich fort riche, dont la teneur en argent est aussi élevée que celle du massif.

Sables très-fins. — Ces sables sont retirés des petits bassins, et enrichis sur les tables à secousses ; ils donnent du schlich-sable très-riche.

Grenailles et gros sables. — Les grains les plus gros, enlevés à la pelle de la première caisse de débourbage, sont chargés par une trémie dans un petit trommel incliné ; la surface du trommel est formée par des tôles percées de trous circulaires, dont les diamètres vont en augmentant du haut vers le bas de l'appareil ; ces diamètres sont de : $0^m,002$, $0^m,005$, $0^m,010$, $0^m,015$, $0^m,020$. Le passage dans le trommel divise les grains en six grosseurs différentes :

Les sables les plus fins sont enrichis au caisson allemand ;

Les cinq autres classes sont passées séparément sur des cribles à pistons.

Chaque crible donne : 1° du massif qui est porté au bocard à sec ; 2° du minerai moyen qui est destiné à être bocardé de nouveau (il est reçu dans des cases disposées en arrière du bocard) ; 3° du minerai pauvre ou de bocard, qui va rejoindre le minerai de même nature provenant du triage ; 4° des matières fines qui traversent les grilles ; on les retire de temps en temps lorsqu'on s'aperçoit d'une irrégularité dans les mouvements de l'eau ; elles sont généralement assez riches pour être fondues ; dans le cas contraire on les traite au caisson allemand.

Les plus grosses grenailles de minerai moyen, données par le criblage, sont bocardées avec la même grille qui sert pour le minerai moyen n° 2 venant du triage ; les autres sont

réunies aux grenailles de même grosseur et de qualité correspondante, fournies par le travail du minerai moyen n° 2.

MINERAI MOYEN N° 2. — Ce minerai est traité comme le premier; la seule différence est dans l'écartement des barreaux de la grille placée devant les pilons du bocard; leur distance est seulement de $0^m,01$.

Le bocardage donne des produits analogues à ceux que je viens d'énumérer pour le n° 1. Les matières fines sont reçues dans les mêmes bassins de dépôt; les sables fins sont enrichis sur le caisson allemand; les sables très-fins sont traités sur les tables à secousses; les gros sables et les grenailles, classés par le trommel, sont passés sur les cribles à piston. Le criblage produit encore du massif, du minerai moyen et du minerai de bocard. Ce dernier va rejoindre le minerai pauvre provenant du triage; les grenailles (minerai moyen) sont réunies à celles de même grosseur que donne le travail du minerai moyen n° 1.

Grenailles minerai moyen. — Les grenailles sont traitées de la même manière, par bocardage et criblage : on a soin seulement de faire varier les dimensions des ouvertures de la grille suivant la grosseur des grenailles. Les grilles les plus fines sont à fils croisés à angle droit, laissant des trous de moins de $0^m,002$.

En procédant ainsi par bocardages successifs, on arrive à obtenir, à l'état de sables et de grenailles d'une grande richesse, la majeure partie de la galène contenue dans les deux qualités de minerai moyen. On ne produit qu'une proportion relativement très-faible de matières fines; et comme celles-ci ne sont pas lavées, la perte en plomb et en argent se trouve réduite à celle qui est faite ultérieurement dans le travail des grenailles pauvres, qui sont élaborées avec le minerai de bocard, envoyé du triage.

On a cherché à diminuer cette perte en séparant sur les cribles la partie supérieure de chaque lavée, considérée

comme stérile ; mais on a bientôt renoncé à ce mode de travail. La partie supérieure de la lavée contient toujours une certaine quantité de grains tenant des mouches de galène, alors même que le piston a fonctionné pendant un temps très-long ; avec les grenailles minerai moyen, il est impossible de faire du *stérile* sur les cribles.

MENUS DES MINES. — Les menus sont extrêmement irréguliers comme richesse et comme composition : ils contiennent une forte proportion de boues, de matières fines et de sables ; les morceaux de toute forme devraient avoir tout au plus $0^m,025$ de côté, puisque dans les ateliers de triage les menus ont passé à travers des grilles, dont les ouvertures ont cette dimension : cependant, à leur arrivée à la préparation mécanique, les menus se trouvent contenir de nombreux morceaux de dimensions beaucoup plus grandes.

Débourbage et classement. — La première opération à laquelle on soumet les menus a pour but la séparation des matières les plus fines, et le classement par ordre de grosseurs des sables et des grenailles. L'appareil employé est assez compliqué ; il comprend :

A l'étage supérieur : 1° un trommel débourbeur, de forme conique, en forte tôle, suivi d'une roue cylindrique d'un diamètre plus grand, dont la jante est en toile métallique ; les ouvertures ont $0^m,001$ de côté ; 2° un grand trommel incliné, dont la surface est en tôle percée de trous circulaires ; les diamètres des trous vont en augmentant depuis le haut jusqu'en bas du trommel, de $0^m,002$ à $0^m,025$. Au-dessous de ce trommel de classement sont les cases destinées à recueillir les grenailles de grosseurs différentes.

A l'étage inférieur un petit appareil de débourbage, placé verticalement contre le mur de l'atelier, et suivi de deux caisses horizontales de débourbage.

A la suite de ces caisses, et en dehors de l'atelier, se trouvent les bassins de dépôt pour les sables très-fins et

les schlamms. Les mêmes bassins reçoivent les matières fines qui s'échappent des caissons allemands.

Les menus sont jetés à la pelle, et par une trémie, dans le trommel débourbeur, dans lequel on fait arriver en même temps un courant d'eau, plus ou moins rapide suivant la nature plus ou moins boueuse des menus. La plus grande partie des boues et des sables fins passe par la jante de la roue cylindrique ; mais une certaine partie se rend avec les grenailles dans le trommel classeur ; on est obligé d'amener dans ce trommel une nouvelle quantité d'eau, et de réunir les matières fines qui sortent du premier compartiment avec celles qui passent par la jante de la roue de débourbage.

Le trommel donne cinq classes de grenailles, qui traversent les trous des tôles, et une sixième classe comprenant tous les morceaux plus gros, qui ne peuvent passer dans les trous de $0^m,025$.

Sables fins et schlamms. — Toutes les matières fines, comprenant les schlamms et les sables dont les grains ont pu traverser les trous de $0^m,002$ de diamètre, tombent dans l'appareil vertical ; le débourbage est produit principalement par un courant d'eau, dont on règle la quantité de telle manière que les schlamms seuls soient entraînés.

Les schlamms se rendent de suite dans les bassins de dépôt.

Les sables tombent dans les caisses de débourbage, et sont retirés à la pelle ; le travail de l'ouvrier met encore en suspension la petite quantité de schlamms que les sables ont retenus ; ces schlamms vont rejoindre les premiers dans les bassins de dépôt.

On obtient ainsi deux qualités de sables gros, et plusieurs classes de sables fins qui restent dans les bassins successifs.

Les deux premières qualités de sables sont traitées au

caisson allemand ; elles donnent du schlich très-riche, mais après un nombre d'opérations très-variable avec la richesse des menus ; le travail est toujours beaucoup plus pénible que celui des sables provenant du bocardage des minerais moyens.

Les sables très-fins et les schlamms, retirés des bassins, sont travaillés séparément sur les tables à secousses. La richesse des schlichs obtenus est variable ; on pousse l'enrichissement d'autant moins loin que les matières traitées sont plus fines ; malgré cette précaution les schlichs donnés par les schlamms ont une teneur en argent (rapportée à 100 kilog. de plomb) notablement inférieure à celle des schlichs provenant des sables fins.

Pendant le travail sur les tables, l'eau entraîne une certaine quantité de matières fines ; les unes sont très-pauvres et sont perdues ; les autres, un peu plus riches, sont recueillies dans des bassins de dépôt, et les boues qui en sont retirées sont de nouveau traitées sur les tables à secousses ; elles donnent des schlichs relativement assez pauvres en argent.

GRENAILLES. — Les six classes de grenailles sont traitées sur douze cribles anglais, manœuvrés par des femmes. L'emploi de ce genre de cribles ne provient pas de leur supériorité sur les cribles à piston ; il n'y aurait pas eu possibilité d'établir ces derniers en raison de la disposition des ateliers.

Le criblage des grenailles les plus fines ne présente pas une grande difficulté ; il n'en est pas de même pour les grosses grenailles, qui offrent la plus grande irrégularité pour la forme des grains ; la séparation à peu près exacte des grains d'après leur richesse est tout à fait impossible ; de là est résulté que le point capital du criblage, le seul auquel on attache une grande importance, est la séparation du stérile. Chaque crible donne trois produits :

1° Le stérile, qui est jeté seulement après vérification du surveillant, et qui est soumis (pour les quatre classes des

plus grosses grenailles) à un triage fait sur place par les cribleuses ;

2° Du minerai pauvre, qui est réuni avec le minerai de bocard, produit par les ateliers de triage ;

3° Du massif ou du minerai moyen.

Les trois classes de fines grenailles donnent assez facilement du massif ; sa richesse est assez variable, mais ordinairement les grains qui restent sur les grilles sont assez riches pour être fondus. Pour les plus fines grenailles on peut même obtenir en outre du minerai moyen, qui rentre dans le traitement des minerais riches. Au contraire, pour les trois classes de grosses grenailles on n'obtient pas régulièrement du massif ; les grenailles pauvres retiennent encore beaucoup de morceaux stériles. On soumet séparément ces deux qualités à un triage sur des tables. C'est seulement à la suite de ce triage qu'on obtient les trois qualités : massif, minerai moyen, minerai de bocard, avec élimination presque parfaite du stérile.

Les caisses des cribles sont vidées de temps en temps ; on en retire des matières fines d'une richesse variable ; quelquefois on peut les fondre directement, d'autres fois il faut les ramener au débourbage des menus ou à celui des minerais moyens.

Minerais de bocard. — On réunit dans le même traitement toutes les matières pauvres, minerai du triage, grenailles sortant des cribles, etc. On les réduit en sable fin par bocardage à mort. Les matières fines entraînées par l'eau passent d'abord dans une série de petits bassins, dans lesquels se déposent les sables, et ensuite dans une série de grands bassins, très-longs et très-profonds. On obtient ainsi une classification suffisante pour les matières fines.

On traite séparément sur les tables à secousses les sables et les schlamms déposés dans les bassins successifs, en ayant soin, comme dans le travail des minerais moyens, d'en-

richir beaucoup moins les schlichs provenant des schlamms que les schlichs donnés par les sables.

Dans cet exposé rapide de la préparation mécanique de Vialas, j'ai considéré seulement les points principaux ; les opérations sont rendues quelquefois un peu plus complexes par la présence du sulfate de baryte ou de la pyrite de fer, que certains chantiers fournissent par moments en assez grandes quantités. Les détails que j'ai donnés suffisent pour faire comprendre la marche générale, et c'est là le seul but que je me suis proposé.

La cause de perte en plomb, et surtout en argent, qui a le plus d'importance est l'entraînement des matières les plus fines par l'eau à la suite du bocardage à mort, et pendant le travail sur les tables à secousses. Les parties les plus argentifères du minerai paraissent être les plus friables; dans les essais des produits divers, la teneur du plomb en argent est d'autant plus faible que les matières dont ces produits proviennent ont une ténuité plus grande.

Cette observation a été faite dans tous les ateliers où l'on traite de la galène fortement argentifère, alors même que la roche encaissante des filons et les gangues terreuses ne contiennent pas trace d'argent.

C'est en partant de cette observation qu'on a été conduit à Vialas à adopter le mode de préparation mécanique que je viens de décrire, et à le modifier progressivement, mais toujours dans le même sens.

Le but qu'on cherche à atteindre par les modifications successives est de diminuer de plus en plus la perte en argent, en réduisant autant que possible la proportion des schlamms, et en évitant de passer au bocardage à mort des morceaux tout à fait stériles en même temps que les matières pauvres. La limite à laquelle il convient de s'arrêter dans cette voie ne peut être trouvée qu'à la suite de longs tâtonnements : on sait bien, en effet, quel accroissement de dépense en main-d'œuvre résulte des soins plus grands apportés au

triage, à l'élimination du stérile dans les criblages, etc.; mais il est impossible de connaître la teneur réelle des minerais sortant de la mine, et par suite d'évaluer, même approximativement, la diminution obtenue dans la perte d'argent. On ne peut se rendre compte du résultat produit par une modification apportée au travail qu'en comparant les teneurs en argent des grenailles et des schlichs divers, résultant de la préparation d'une grande quantité de minerai.

D'après l'expérience acquise à Vialas, la limite dont je viens de parler n'est pas encore atteinte : on peut diminuer un peu les pertes en apportant plus de soins encore au classement des minerais pauvres.

§ 2. *Production de la mine de Vialas.*

Je prends comme exemple la production de la mine et des ateliers de triage et de préparation mécanique pendant la campagne annuelle, terminée en juillet 1862. Les travaux dans la mine et au triage sont en activité pendant toute l'année; mais les ouvriers ayant presque tous quelque lopin de terre, ou des vers à soie, il y a, pendant l'été, un ralentissement très-notable. A la préparation mécanique les appareils sont mis en mouvement par l'eau, on doit arrêter le travail pendant les fortes gelées de l'hiver et pendant les trois ou quatre mois de l'été.

Pendant la campagne annuelle 1861-62, la mine a livré au triage :

5.532 mètres cubes de minerai de toute nature (mesuré d'après la contenance des wagons) provenant de 7.297 mètres cubes de roche en place abattue dans les filons, ou dans les recherches productives. Dans la même campagne, les travaux de recherche, dans les parties entièrement stériles, ont produit l'abatage de 1.806 mètres cubes en place. Je laisse d'abord de côté la roche stérile provenant des

recherches, afin d'apprécier avec une plus grande approximation la richesse des veines métallifères.

Pour comparer le nombre de mètres cubes amenés au triage avec le vide réel produit par l'exploitation, il faut tenir compte du foisonnement : il est impossible de poser à cet égard des chiffres exacts, je ne peux donner qu'une évaluation appropriée.

Les 5.532 mètres cubes en wagons, amenés au triage, représentent environ 3.635 mètres cubes en place : on a donc laissé dans la mine pour les remblais 3.662 mètres cubes de la roche abattue, c'est-à-dire à très-peu près la moitié du vide total produit par l'exploitation.

On a obtenu au triage :

	mètres cubes.
Stérile	2.218
Mineral de bocard . . .	776
Moyen n° 1	8
Moyen n° 2	187
Menus	2.348
Massif.	15
	5.552

Les ateliers de préparation mécanique ont été en activité pendant sept mois et demi : ils ont donné les produits suivants :

	kil.	Soit p. 100 de produits.
Minerai riche, du triage.	76.440	9,00
Grosses grenailles des cribles.	30.930	17,00
Moyennes grenailles.	56.110	
Fines grenailles.	55.240	
Schlichs des caissons.	182.430	22.00
Schlichs, sables, minerais moyens . .	51.200	6,00
Schlichs fins et bourbes moyens . . .	15.840	1,85
Schlichs, sables, minerais pauvres. .	146.300	17,00
Sclichs schlamms pauvres.	207.140	24.65
Schlichs pyriteux.	16.300	2.00
Total.	838.930	100,00

Le rendement moyen à l'essai du mélange de tous ces

produits est de 42 p. 100 de plomb à 480 grammes d'argent aux 100 kilog.

D'après les essais les produits de la préparation mécanique contiennent donc :

	kil.
Plomb.	352.360
Argent.	1.689

Il enrésulte que le mètre cube de roche productive abattue contient, ou plutôt rend dans les minerais préparés pour la fusion, 48 kilogrammes de plomb et 231 grammes d'argent. Ces nombres ne donnent pas une idée exacte de la richesse des filons exploités, car on est obligé d'abattre la roche sur une largeur beaucoup plus grande que celle des veines métalliques, afin de ne pas laisser de côté les veines latérales et les veinules. On obtient une approximation plus grande en comparant le plomb et l'argent, contenus (d'après les essais) dans les produits de la préparation mécanique, avec les matières diverses sorties de la mine, amenées au triage. On peut admettre, en effet, que les morceaux stériles, qui sont laissés dans la mine comme remblais, représentent à peu près la roche encaissante abattue.

Les 5.532 mètres cubes sortis en wagons répondent à 3.635 mètres cubes de roche en place; d'après cela le mètre cube donne dans les produits préparés : 97 kilogrammes de plomb et 465 grammes d'argent. En comptant le plomb à 45 francs les 100 kilogrammes et l'argent à 222 francs le kilogramme, on arrive à la valeur approximative de 145 francs pour le mètre cube en place dans les veines métalliques, tandis que la valeur retirée à la préparation mécanique du mètre cube réellement abattu est moitié moindre.

Il est important de faire encore une autre comparaison. Les travaux de recherche et d'aménagement qui ont été faits pendant la dernière campagne n'ont pas eu un

développement exceptionnel : je crois même que pour assurer une production à peu près régulière il conviendrait de les pousser encore avec plus d'activité. On serait donc conduit à une appréciation très-erronée de la richesse de la mine si l'on comparait seulement la valeur contenue dans les produits avec le nombre de mètres cubes abattus dans les filons eux-mêmes. Il faut rapporter la valeur des produits au nombre total des mètres cubes abattus dans les filons, dans les galeries à travers bancs, etc.

Dans la campagne 1861-62, on a abattu 9.103 mètres cubes de roche en place; le mètre cube a donc fourni dans les produits préparés pour la fusion 38 kilogrammes de plomb et 185 grammes d'argent, soit une valeur d'environ 58 francs.

On comprend aisément, d'après ces nombres, combien il faut attacher d'importance à limiter les pertes de galène argentifère dans l'exploitation et dans les opérations du triage et de la préparation mécanique.

Rendement a l'essai des produits. — Pour mettre en évidence les principales causes de pertes contre lesquelles on doit lutter dans la préparation de minerais aussi pauvres en plomb, je vais donner les résultats des essais des produits divers. Je cite seulement la moyenne des nombres obtenus dans les essais hebdomadaires :

	Plomb.		Argent aux 100 kil. de plomb.
Minerai massif, ou fin sec	53 p.	100	545 gr.
Grosses et moyennes grenailles	56	—	501
Fines grenailles	65	—	496
Schlichs du caisson	57	—	477
Schlichs, sables, minerais moyens	53	—	471
Selichs fins (provenant des menus)	33	—	480
Sclichs sables, minerais pauvres	37	—	445
Schlichs schlamms, minerais pauvres	33	—	409
Schlichs pyriteux	19	—	421
Bourbes	23	—	422

Les minerais sont trop irréguliers pour que ces nombres puissent être considérés comme se correspondant les

uns aux autres; cependant ils permettent de tirer quelques conclusions importantes.

Les grenailles ont une teneur en argent un peu moins élevée que celle du minerai massif qui n'a subi aucune élaboration à l'eau; les schlichs du caisson et les schlichs qui proviennent du lavage des sables des minerais moyens sont également assez riches en argent; il y a donc peu de perte d'argent dans la préparation des grenailles ou des sables qui ne proviennent pas d'un bocardage prolongé. La même observation s'applique aux schlichs produits par le travail aux tables à secousses des sables fins retirés des menus des mines : il est vrai que, pour ce dernier, on a soin de ne pas pousser très-loin l'enrichissement en plomb.

Au contraire, les schlichs qui proviennent des minerais pauvres ont une teneur en argent notablement inférieure, et cependant ils ne rendent à l'essai que 33 et 37 pour 100 de plomb; leur teneur en argent devient encore beaucoup plus faible lorsqu'on enrichit jusqu'à 45 ou 46 pour 100 de plomb. La cause principale de perte d'argent est donc bien certainemeut le bocardage à mort des minerais pauvres.

§ 3. *Traitement métallurgique.*

Les divers produits du triage et de la préparation mécanique sont traités avec les fumées, les bourbes, les débris de fourneaux et les matières plombeuses de toute nature qui proviennent des opérations de l'année précédente.

Ces matières diverses sont pesées et essayées avant d'être mises en dépôt dans des magasins spéciaux. On sait approximativement, d'après la production des dernières années, et d'après l'apparence des filons dans les chantiers mis en exploitation, dans quelle proportion seront obtenus le minerai massif, les grenailles, les schlichs de différentes qualités. L'ingénieur peut donc calculer la composition des lits de fusion avant la mise en feu des fourneaux de l'usine,

et conserver cette composition à très-peu près constante pendant toute la durée du travail métallurgique. C'est là un point très-important pour la bonne marche des fours et pour la régularité du travail : la constance de composition des matières traitées permet de payer à *prix faits* la plupart des ouvriers, et de régler à tant par tonne le grillage et la fonte aux fours à manche.

Le traitement métallurgique comprend les opérations suivantes :

1° Grillage au four à réverbère, agglomération des minerais grillés ;

2° Fonte au four à manche des minerais grillés, associés avec des scories, des fonds de coupelles, des litharges sales en morceaux, etc. ;

3° Coupellation au grand four allemand du plomb d'œuvre produit par la seconde opération ;

4° Raffinage de l'argent brut, par fusion dans des creusets de plombagine ;

5° Préparation pour la vente des litharges jaunes et rouges ;

6° Traitement des abzugs.

PEMIÈRE OPÉRATION. — GRILLAGE. — AGGLOMÉRATION. — Les minerais riches, les grenailles de diverses grosseurs sont pulvérisés sous les pilons du bocard à sec, avant d'être envoyés au magasin des schlichs. Dans ce magasin même on prépare les *mélanges*, pesant chacun environ 40 tonnes, des minerais riches, des grenailles, des schlichs divers, des bourbes, des fumées, des matières plombeuses pulvérulentes, dans les proportions qu'indique l'ingénieur. Les matières bien mélangées sont transportées aux fours de grillage.

Il y a dans l'usine trois fours à une seule sole ; ils ont été construits à des époques différentes, sur le même plan, mais avec des dimensions inégales : les plus grands ont

donné les résultats les plus favorables; ils peuvent recevoir des charges de 1.100 kilogrammes.

L'opération est divisée en deux périodes, le grillage et l'agglomération.

Grillage. — La charge est étendue sur la sole en couches régulières, d'une assez faible épaisseur: on la laisse s'échauffer très-lentement pendant plusieurs heures, et l'on ne commence à la travailler au rable et à la spadelle que lorsqu'elle est portée dans toutes ses parties à une température voisine du rouge sombre. A partir de ce moment, les ouvriers doivent travailler presque constamment, de manière à régulariser l'élévation de la température et l'oxydation. La période de grillage dure environ douze heures : lorsqu'elle est terminée, les matières sont oxydées à très-peu près complétement; elles commencent à s'agglomérer auprès du pont.

Agglomération. — Dans cette seconde période, les ouvriers poussent le feu avec un peu plus d'activité; ils amènent successivement toutes les parties de la charge auprès du pont, et font sortir par la porte de travail la plus rapprochée de la chauffe, les minerais grillés qui ont été amenés à l'état pâteux. Il faut environ quatre heures pour agglomérer une charge de 1.100 kilos et pour la retirer du four; en sorte que l'opération entière dure seize heures.

Les minerais grillés, refroidis en partie avec de l'eau, sont examinés et reçus par le contre-maître, pesés et transportés au magasin. Ils ne doivent plus contenir de sulfure visible à l'œil; ils doivent supporter les transports et le cassage au marteau sans donner de poussière, et cependant ils n'ont subi en aucun point une véritable fusion. Cette préparation peut être faite assez convenablement à Vialas en raison de la diversité des gangues; avec des gangues exclusivement quatzeuses, il serait impossible d'éviter la fusion partielle.

Les deux points principaux de l'opération sont : 1° l'oxyda-

tion assez complète pour qu'il ne se produise pas de mattes dans le traitement au four à manche ; 2° l'agglomération poussée à un degré tel qu'il y ait décomposition de la majeure partie des sulfates, qui se forment pendant la première période de grillage ; la température ménagée de telle manière que, après cassage, on puisse livrer au four à manche les minerais grillés en morceaux à peu près d'égale grosseur, et tous parfaitement poreux.

Il y a dans le grillage une perte très-faible de plomb et d'argent ; elle est due principalement à l'entraînement des matières fines par les gaz pendant le chargement et pendant les premiers rablages. Les matières entraînées se déposent à peu près en totalité dans les chambres de condensation.

SECONDE OPÉRATION. — FONTE AU FOUR A MANCHE. — Les fours à manche sont très-peu élevés ; ils n'ont que $1^{m},60$ de hauteur à la poitrine, mais ils sont assez profonds. Le vent est lancé dans chacun d'eux par une seule tuyère, à une pression presque constante, comprise ordinairement entre $0^{m},025$ et $0^{m},030$ de mercure. Les avant-creusets sont assez grands, car ils s'avancent à $0^{m},25$ de la poitrine ; les scories coulent par-dessus la brasque des avant-creusets à peu près constamment pendant toute la durée des campagnes.

Les lits de fusion sont préparés sur le sol même de l'atelier, à proximité des fours ; leur composition presque constante est la suivante :

Minerais grillés en morceaux de la grosseur d'un œuf. . . .	100
Scories contenant des grenailles, ou riches par suite des dérangements, en morceaux de grosseurs variables, plus petits que le poing.	50
Débris de fours, fonds de coupelle, litharges sales, également cassés en morceaux plus petits que le poing	10
Minerai de fer quartzeux, grillé, cassé en petits morceaux.	4
Sulfate de baryte, en morceaux gros comme des noisettes. .	4

Le minerai de fer et le sulfate de baryte servent en partie comme fondants, en partie comme réductifs ; ils remplacent

très-avantageusement la fonte et la ferraille, qui sont employés dans un certain nombre d'usines. Ils permettent d'obtenir des scories suffisamment pauvres en plomb, très-fluides, et *mouillant* parfaitement le coke.

Le travail au four à manche ne présente aucune particularité ; les lits de fusion sont chargés entre la warme, le coke est jeté contre la poitrine ; le nez est maintenu à la longueur de $0^m,25$ environ ; il est constamment clair et le gueulard obscur.

La fonte est conduite avec rapidité ; on passe en général de 60 à 70 tonnes de minerai grillé en 10 jours, en consommant de 12 à 14 kil. de coke pour 100 de matières fondues. La durée moyenne des campagnes est très-courte, de 12 à 13 jours au plus ; cela tient principalement à la nature des matériaux qu'on emploie pour construire l'intérieur des fours ; on se sert de pierres schisteuses qui laissent entre elles des joints très-grands, en sorte que l'usure des parois est très-rapide, surtout du côté de la warme.

Les briques réfractaires permettraient certainement de faire des campagnes plus longues, mais leur prix est très-élevé, et de plus il n'y a véritablement aucun intérêt économique à faire de longues campagnes. La comparaison a été faite plusieurs fois à Vialas ; la consommation de coke, le rendement en plomb et en argent, les frais de main-d'œuvre sont sensiblement les mêmes pour des campagnes de 12 à 13 jours que pour celles dont la durée est au-dessus de la moyenne, pourvu, bien entendu, que l'allure des fours soit régulière.

Le rendement en argent paraît même être un peu plus élevé lorsqu'on ne dépasse pas 60 tonnes de minerai grillé. et c'est là maintenant la limite que l'on ne cherche pas à dépasser.

La fonte aux fours à manche donne un seul produit principal, le plomb d'œuvre, dans lequel se trouve concentrée la majeure partie de l'argent. Il ne se forme des

mattes que très-rarement, et seulement lorsque le grillage a été mal conduit; ces mattes sont pulvérisées et repassées au grillage ; elles rentrent ainsi dans la marche générale du traitement.

Comme produits secondaires, on obtient : les scories, les fumées et les débris des fours. Les scories bien fluides, exemptes de grenailles, soit de matte, soit de plomb d'œuvre, sont jetées ou bien utilisées pour l'empierrement des chemins ; celles des scories qui coulent un peu pâteuses, celles qui sortent des trous de coulée en même temps que le plomb d'œuvre, et celles qui contiennent des grenailles, sont ajoutées aux lits de fusion.

Les scories jetées rendent à l'essai de 1 1/2 à 2 1/2 p. 100 de plomb, et ne sont pas sensiblement argentifères. On peut négliger les faibles proportions d'argent qu'elles contiennent; il n'en est pas de même pour le plomb. Le rendement à l'essai est certainement inférieur à leur teneur réelle, et la perte de plomb qui en résulte est assurément une fraction notable de la perte totale faite dans les fontes. Il serait facile d'appauvrir les scories, mais on n'y arriverait que par une élévation notable de la température dans les fours; la conséquence inévitable serait une perte plus grande d'argent par volatilisation. Dans les conditions spéciales de l'usine de Vialas, c'est la perte d'argent qu'il importe avant tout de diminuer; il y a un intérêt économique certain à laisser un peu d'oxyde de plomb dans les scories.

Les débris de fours sont riches en plomb et en argent; ils contiennent ces deux métaux engagés dans des combinaisons diverses, et principalemeut à l'état de sulfures. Ils sont repassés progressivement dans les lits de fusion; peut-être serait-il plus convenable, en raison de la forte proportion des sulfures, de les pulvériser au bocard à sec, et de les presser au grillage. Cette modification du traitement sera prochainement essayée à l'usine.

Les fumées sont condensées dans les chambres et les canaux établis sur la montagne ; elles sont recueillies à la fin des campagnes, et passées au grillage avec les schlichs.

TROISIEME OPÉRATION. — COUPELLATION. — La coupellation est faite dans un grand four circulaire dont le diamètre intérieur est de 3 mètres, chauffé à la houille ; les flammes et les fumées se rendent, par un conduit spécial, dans les grandes chambres de condensation, qui servent pour tous les fours de l'usine.

La coupelle est en marne ferrugineuse, et battue très-plate vers le centre du four, afin que le gâteau d'argent n'ait pas une trop grande épaisseur.

La charge est de 15 tonnes de plomb d'œuvre ; l'opération entière dure de 70 à 72 heures ; la seule particularité qu'elle présente est le mode de réception des litharges. Elles coulent dans un bassin en terre de coupelle, placé en avant de la voie de sortie des litharges. La terre est battue en même temps dans le bassin et dans le four. On approfondit le bassin pendant l'opération, à mesure que le niveau du métal fondu s'abaisse dans la coupelle.

Cette disposition permet de retenir les litharges à une très-petite distance de la paroi du four, et de les enlever alors qu'elles sont encore à l'état pâteux, en morceaux très-épais, pesant quelquefois plus de 100 kil. ; ces morceaux se refroidissent lentement et se transforment entièrement en paillettes magnifiques.

Les produits de la coupellation sont les suivants :

1° Les litharges marchandes, jaunes et rouges, déposées en tas contre le mur de l'usine ;

2° Les litharges sales et les abstrichs, qui sont placés ensemble en un autre point ;

3° Les abzugs, produits les plus impurs, destinés à la révivification ;

4° Les fonds de coupelle imprégnés d'oxyde de plomb ;

5° Les parties de la coupelle qui n'ont pas été imprégnées par la litharge ;

6° L'argent d'éclair, en gâteaux circulaires, dont l'épaisseur au milieu est de $0^m,04$ à $0^m,05$.

La coupellation donne en outre beaucoup de fumées, qui sont retirées, à la fin des campagnes, des canaux et des chambres de condensation.

Les litharges, les abstrichs et les fonds de coupelle imprégnés d'oxyde de plomb sont ajoutés aux lits de fusion des fours à manche ; on ne fait subir à ces matières qu'une préparation extrêmement simple, le cassage des gros morceaux et la séparation des parties pulvérulentes. Ces dernières sont traitées avec les schlichs, et passent aux fours de grillage avant d'être fondues dans les fours à manche.

Les parties des coupelles qui ne sont pas imprégnées de litharge sont pulvérisées, et servent à la confection des coupelles, après avoir été mélangées intimement avec la terre nouvelle.

QUATRIÈME OPÉRATION. — RAFFINAGE. — L'affinage de l'argent dans la coupellation est poussé très-loin, peut-être beaucoup plus loin qu'il ne faudrait le faire, en raison de la perte notable d'argent qui a lieu dans le four de coupelle vers la fin de l'opération. Les gâteaux d'argent ne contiennent plus que des traces de plomb métallique ; ils retiennent seulement un peu de litharge et de terre de coupelle, adhérentes à la surface, ou à l'état de mélange mécanique plus ou moins intime.

Il serait certainement facile d'éviter cette perte par volatilisation en arrêtant la coupellation au premier éclair, ainsi que cela se fait dans un grand nombre d'usines, alors que l'argent brut contient encore 2 ou 3 p. 100 de plomb. L'étude sérieuse de cette question a fait reconnaître, depuis longtemps déjà, que les modifications qu'il faudrait apporter au raffinage entraîneraient à des dépenses au moins

égales à la valeur de l'argent perdu dans les dernières heures de la coupellation.

En réalité l'argent d'éclair, tel qu'il est retiré du four de coupelle, a déjà subi toute la période d'oxydation du raffinage ordinaire ; il ne reste plus à faire qu'une *liquation* amenant à la surface de l'argent fondu toutes les matières étrangères, qui sont seulement à l'état de mélange dans l'argent brut.

L'argent est coupé en morceaux, et fondu lentement dans un creuset de plombagine; les matières étrangères sont solidifiées, lorsque cela est nécessaire, à l'aide d'un peu de sable quartzeux, et enlevées avec une curette en fer; le raffinage est terminé lorsque la surface du métal forme un miroir parfaitement net et brillant. L'argent est alors coulé dans des lingotières, et les lingots sont envoyés à Paris. L'argent de Vialas est admis dans le commerce au titre de 999 millièmes ; il est en réalité rigoureusement pur, et ne contient même plus de traces de plomb.

Les crasses du raffinage sont assez riches en argent ; on les repasse à la coupellation, ou bien on les fond séparément dans un vieux creuset de plombagine, avec un peu de litharge et de charbon ; le plomb très-argentifère qui est ainsi produit est réuni au plomb d'œuvre donné par les fours à manche.

Cinquième opération. — Préparation des litharges. — Les litharges marchandes sont d'abord légèrement écrasées avec des pilons en bois, puis jetées dans un trommel un peu incliné, dont la surface est formée de tôle percée de trous.

La disposition du trommel et les dimensions des trous sont à très-peu près les mêmes que celles adoptées maintenant dans les moulins à blé. Les paillettes de litharges rouges traversent les ouvertures, tandis que les litharges jaunes tombent par la base inférieure du trommel.

Cet appareil donne de très-belles litharges rouges, mais il a un inconvénient assez grave, c'est de laisser une assez

forte proportion de paillettes avec les morceaux. Les litharges jaunes ont été jusqu'à présent vendues sans aucune autre préparation, sous forme de morceaux irréguliers. On installe en ce moment à l'usine un appareil de broyage et de porphyrisation, qui permettra de livrer ce produit, soit à l'état de sable très-fin, soit en poudre impalpable, suivant la demande du commerce.

SIXIÈME OPÉRATION. — TRAITEMENT DES ABZUGS. — Les abzugs contiennent une proportion assez grande de divers métaux, fer, cuivre, antimoine, etc.; ils sont très-peu argentifères; ils rendent à l'essai du plomb tenant de 25 à 35 grammes d'argent aux 100 kil. En passant ces matières dans les lits de fusion des fours à manche, ainsi que cela a été fait pendant longtemps, on retire la plus grande partie du plomb et de l'argent qu'elles contiennent, mais en même temps, on rend le plomb d'œuvre plus *sale*, c'est-à-dire plus chargé d'antimoine et de cuivre. En séparant au contraire les abzugs on retire des fours à manche du plomb d'œuvre relativement assez pur, rendant facilement à la coupelle 80 p. 100 de très-belles litharges marchandes; mais il faut alors traiter séparément les abzugs au four à manche, ce qui donne du plomb très-aigre, peu argentifère, dont on n'a pas aisément le débouché.

C'est cependant ce dernier mode de traitement qui paraît donner les résultats économiques les moins défavorables, bien que l'argent contenu dans les abzugs soit à peu près entièrement perdu. Les abzugs, enmagasinés pendant toute la durée du travail, pendant l'hiver et le printemps, sont fondus avec addition de scories plombeuses à la fin de la dernière campagne des fours à manche.

Le plomb aigre qui est produit est moulé dans des lingotières en fonte, comme le plomb d'œuvre, mais avec un peu plus de soins pour parer la surface des lingots; on l'expédie ensuite pour la vente à Toulouse ou à Marseille. On a produit, l'année dernière, plus de 25 tonnes de ce plomb impur.

§ 4. *Production de l'usine.*

On a traité, dans la campagne 1861-62, 838t,93 de schlichs, plus un poids considérable de bourbes, de fumées et de matières plombeuses diverses, provenant du travail de l'année précédente. On a laissé de même pour l'année suivante, des bourbes, des fumées, etc.

Il n'y a pas correspondance entre les poids de ces matières plombeuses qui sont forcément reportées d'une année à l'autre; il en résulte qu'on n'obtient pas exactement le rendement des minerais en produits marchands, en comparant le poids de ces produits au poids des minerais traités. Il y a cependant un certain intérêt à faire cette comparaison, parce qu'elle permet de mettre en évidence un fait assez curieux : il y a dans le traitement métallurgique perte de plomb, et, au contraire, augmentation du rendement en argent.

Les fours de grillage ont livré aux fours à manche 890t,66 de minerais grillés, ceux-ci ont été fondus en dix-huit campagnes; avec addition de scories, minerai de fer, sulfate de baryte, fonds de coupelle, litharges sales, etc. : on a fondu en réalité 1.479 tonnes de matières diverses, en consommant en moyenne 13 de coke pour 100 de matières fondues.

Les produits métalliques donnés par les fours à manche ont été :

Plomb d'œuvre.	367t,00
Plomb aigre.	25t,35

On a coupellé 370 tonnes de plomb d'œuvre (il restait à l'usine environ 3 tonnes de plomb de l'année précédente) ; on a obtenu :

Argent raffiné.	1.930k,000
Litharges rouges.	145t,955
Libarges jaunes.	134t,844

En admettant que les matières plombeuses, fumées, bourbes, etc., réservées pour la campagne 1862-63, contiennent approximativement les mêmes quantités de plomb et d'argent que renfermaient les matières correspondantes de l'année précédente, on a pour le rendement de la tonne de schlichs :

Argent......	2k,300	
Litharges.....	346k,50	Plomb... 351 kil.
Plomb aigre....	50k,00	

La tonne de schlichs contient, d'après les essais :

Argent............	2k,020
Plomb.............	420k,000

Il y a eu perte de plomb de 69 kil., soit de 16,40 pour 100, et augmentation de rendement en argent de 280 grammes, ou de 13,80 pour 100.

Ainsi que je l'ai déjà dit, ces nombres ne peuvent pas être pris en valeur absolue ; on doit les considérer seulement comme approximatifs. Ils démontrent assez nettement que la perte de plomb que fait éprouver le traitement métallurgique est de beaucoup supérieure à celle qui est faite dans les essais des minerais, et que, pour l'argent, au contraire, la perte est beaucoup moindre à la fonderie que dans les essais.

MÉMOIRE

SUR LES EAUX EMPLOYÉES A L'ALIMENTATION DES LOCOMOTIVES DU RÉSEAU DE L'EST.

Par M. DIEUDONNÉ, inspecteur du matériel au chemin de fer de l'Est, ancien élève de l'École polytechnique.

I. On sait combien il est important d'empêcher les incrustations dans les chaudières des locomotives. L'économie et la sécurité s'y trouvent intéressées également. La difficulté du nettoyage et aussi l'énorme production de vapeur par unité de surface de chauffe rendent l'emploi des eaux calcaires ou séléniteuses fort nuisible à la durée de ces générateurs. Aussi la compagnie des chemins de fer de l'Est n'a-t-elle pas reculé devant les plus grands sacrifices pour assurer l'approvisionnement de ses réservoirs en eau de la meilleure qualité possible.

Les localités où l'on doit s'approvisionner d'eau se trouvent généralement fixées par les conditions du service : les réservoirs doivent être espacés, en moyenne, de 20 kilomètres et, en outre, placés dans les stations où l'arrêt des trains est le plus prolongé. Quand on a déterminé la station où l'on devra s'alimenter, il peut arriver que l'eau des puits voisins soit assez bonne, qu'elle marque, par exemple, de 15 à 20 degrés à l'hydrotimètre (*). Dans ce cas, l'établissement le plus économique, comme construction et comme exploitation, consistera en un puits creusé à côté de la ma-

(*) Un degré de l'hydrotimètre correspond à un centigramme environ de matière dissoute par litre. Les résultats sont facilement observés à un demi-degré près.

chine élévatoire; mais si l'eau des puits environnants est très-chargée, faudra-t-il s'en contenter, au lieu d'aller chercher, par des conduites longues et coûteuses, l'eau d'une rivière ou d'une source plus ou moins éloignées de la station?

Le problème précédent s'est fréquemment présenté devant les ingénieurs du matériel et de la traction de la compagnie de l'Est, et nous pensons qu'il ne sera pas sans intérêt de voir comment il a été résolu dans quelques cas.

II. Dans la vallée de la Marne, aux prises d'eau de la Ferté-sous-Jouarre, Château-Thierry, Dormans, Épernay, on s'était contenté primitivement de creuser des puits à côté des réservoirs; mais on s'aperçut que les machines faisant le service dans le parcours de Paris à Épernay s'incrustaient beaucoup; et en effet, l'eau de ces puits, analysée à l'hydrotimètre, donna les résultats suivants :

	degrés.
La Ferté-sous-Jouarre.	73
Château-Thierry.	38
Dormans.	45
Épernay.	32

Or la Marne, qui côtoie la ligne à peu de distance, dans toute cette région, marque seulement 18 à 20°.

Il était, dès lors, évident que, malgré la proximité, les puits ne donnaient pas l'eau de la Marne; la filtration à travers le terrain chargeait leurs eaux de matières diverses solubles (*). Le remède à cette fâcheuse situation était d'abandonner les puits et d'aller chercher l'eau de la ri-

(*) La carte hydrologique de la ville de Paris, faite par M. Delesse, ingénieur des mines, montre bien que les puits au bord de la Seine sont alimentés par des nappes souterraines descendant des coteaux voisins. Elle montre aussi que la qualité de l'eau des puits varie beaucoup dans des endroits très-voisins et qu'elle est surtout influencée par la nature du terrain.

vière au moyen de conduites plongeant directement dans son lit.

C'est ce qu'on a fait : à Épernay et Dormans, la rivière était très-voisine ; il a suffi de poser une conduite d'aspiration longue de 180 mètres. Mais à Château-Thierry, à la Ferté-sous-Jouarre, la rivière était trop loin ; il a fallu déplacer la machine pour pouvoir aspirer ; on l'a placée au point où la rivière se rapproche le plus de la ligne, dans le voisinage de la station. Voici les principaux chiffres se rapportant à ces deux installations nouvelles :

	Château-Thierry.	La Ferté.
Hauteur d'aspiration.	5^{m},60	6^{m},50
Longueur d'aspiration.	243^{m},00	169^{m},00
Longueur de refoulement. . .	820^{m},00	781^{m},00
Hauteur de refoulement. . . .	13^{m},10	16^{m},30
Force de la machine.	6$^{chevx.}$	6$^{chevx.}$
Volume d'eau élevé à l'heure.	10^{mc},00	10^{mc},00

Nota. — Les hauteurs d'aspiration sont prises à l'étiage.

La dépense causée par la substitution de la nouvelle prise d'eau à l'ancienne a été environ de 15.000 francs à Château-Thierry et 16.000 francs à la Ferté.

Il faut apporter les plus grandes précautions dans la pose de l'extrémité du tuyau aspirateur, afin d'avoir sûrement l'eau de la rivière, pure et entièrement privée de sources ayant filtré à travers le terrain.

On comprendra combien la question est délicate en voyant ce qui s'est passé à Meaux. En 1860, l'analyse de deux échantillons pris en même temps, l'un au boyau de distribution dans la gare, l'autre directement dans la Marne, donna le résultat suivant :

	degrés.
Eau du réservoir.	33
Eau de la Marne.	18

De plus, l'analyse qualitative montra qu'il y avait une quantité notable de sulfate de chaux dans le premier échan-

tillon, tandis que le second n'en accusait pas à l'hydrotimètre; et cependant le puits d'alimentation était placé aussi près que possible de la Marne, dans le talus même de la rivière (Pl. VIII, *fig.* 1). Puits vertical en pierres sèches, enrochement s'élevant jusqu'au niveau des hautes eaux, suivant la pente du talus; le tuyau d'aspiration *a* plongeait jusqu'au fond du puits.

Il fallut donc admettre que, dans ce puits, l'eau de la rivière n'arrivait pas seule; il y entrait aussi des eaux d'infiltration venant du coteau voisin et en quantité d'autant plus grande que la rivière était plus basse, ce que nous pûmes vérifier par l'analyse; l'écart trouvé entre les deux chiffres représentant le degré était maximum au moment de l'étiage.

On recépa alors la partie verticale du tuyau d'aspiration et on le plongea jusqu'en *c*, dans le courant même de la rivière. Depuis cette opération, l'eau du réservoir a toujours marqué exactement le même degré que celle de la Marne.

A Épernay, on rencontra les mêmes difficultés. La *fig.* 2 représente la disposition du puits, le tuyau d'aspiration plongeait d'abord jusqu'au fond; une double analyse faite le même jour, en 1860, donna :

	degrés.
Eau du réservoi	22
Eau de la Marne.	17

Ainsi, dans le cas actuel, le flot de la rivière arrive sur le puits, et l'on n'a pas encore le résultat voulu.

Mais on sait que les eaux calcaires sont plus lourdes que les eaux pures; il était possible que l'eau prise en haut fût meilleure qu'au fond du puits; c'est ce que l'expérience a démontré : on a recépé le tuyau d'aspiration en *m*, et, à partir de ce moment seulement, l'eau versée dans le réservoir marqua exactement 17°.

On voit quelle attention il faut apporter dans ces études. Comme exemple de bonne disposition d'un tuyau aspirateur,

nous donnons celle adoptée à Dormans (*fig.* 3) et à la Ferté (*fig.* 4).

Nous citerons encore, comme curiosité, un fait observé à Épernay. Vers la sortie de la gare se trouvent deux étangs, à l'emplacement de l'ancien lit de la Marne (*fig.* 5). Ces étangs se trouvent complétement séparés de la rivière. Or plusieurs analyses ont donné, pour leur eau, les résultats suivants :

	degrés.		degrés.
9 juin 1860.	9,5	Mars 1861.	18,0
25 juin 1860.	10,5	Août 1861.	10,0
Octobre 1860.	21,5	Mai 1865.	10,5

Ici donc nous avons trouvé le plus souvent un degré notamment inférieur à celui de la Marne; d'où cela peut-il provenir? Les coteaux voisins contiennent des sources qui marquent 40 degrés environ à l'hydrotimètre, leur mélange avec les eaux de la Marne ne pourrait donner de l'eau à 10 degrés; on l'a d'ailleurs vérifié directement.

Nous pensons que le résultat susdit provient des eaux de pluie *locales* qui, à certains moments, tombent dans la Marne sans altérer sa composition d'une manière appréciable, tandis qu'elles s'emmagasinent plus ou moins dans les étangs; et ce qui semblerait le prouver, c'est que le chiffre 21°,5 a été observé dans un moment où la Marne venait de monter sans qu'il fût tombé de pluie, aux environs d'Épernay; au contraire, les degrés 9 et 10 correspondent, en général, à des époques où la Marne était basse. Toutefois, si la sécheresse se prolonge, le degré se rapproche de celui de la rivière; car l'évaporation tend à faire baisser sensiblement le niveau de l'étang, et la Marne afflue pour remplacer l'eau évaporée.

La compagnie aurait pu prendre l'eau de ces étangs, qui lui appartiennent; mais l'avantage, au point de vue de la qualité moyenne, n'était pas assez marqué pour abandonner l'installation déjà existante.

III. On trouvera dans le tableau A les résultats d'un grand nombre d'analyses que nous avons faites, pour la plupart depuis janvier 1860. Beaucoup de ces chiffres représentent des moyennes prises sur plusieurs époques. En regard de chaque localité, on a indiqué la dénomination géologique du terrain.

La plus remarquable de ces prises d'eau est celle de Mulhouse; les eaux de puits étant médiocres (elles marquent 30 degrés), on n'a pas craint d'aller chercher à 7 kilomètres et demi une belle source, qui arrive naturellement par siphon dans le réservoir. La qualité exceptionnelle de cette eau est très-précieuse pour la compagnie, puisque la consommation du grand dépôt de Mulhouse n'est pas moindre de 240 mètres cubes par jour.

A Montigny (près Metz), la prise d'eau a été établie dans le même esprit. L'eau des puits locaux marque 43 degrés, tandis qu'on va chercher à 2 kilomètres l'eau de la Moselle marquant seulement 12 degrés.

A Forbach, où l'on consomme de l'eau à 4 degrés, nous avons visité, en 1860, la chaudière d'une machine de gare ayant fait le service pendant six ans : cette chaudière était aussi propre qu'en sortant de chez le constructeur ; la surface du métal était parfaitement nette. Ce beau résultat doit être attribué à ce que cette machine n'avait pas consommé d'autre eau que celle de Forbach.

Le tableau A montre d'une manière frappante combien les eaux sont moins chargées dans les terrains anciens que dans les terrains plus récents. On suit parfaitement la gradation en allant de Paris vers les Vosges; l'observation raisonnée de ce tableau servirait presque de carte géologique.

La Seine, la Marne, la Meuse, qui prennent leur source dans le terrain jurassique, présentent à peu près la même composition; leur degré moyen est de 18; il va en croissant dans la Marne, à mesure qu'elle se rapproche de Paris. C'est que, sur son parcours, plusieurs affluents, sortis de

terrains moins durs, lui apportent des eaux plus calcaires.

La Moselle, la Meurthe, la Sarre, la Zorn, forment un autre groupe bien distinct. Sortant du grès des Vosges, ou de terrains cristallisés, elles sont beaucoup plus pures, du moins jusqu'à une grande distance de leur source : nous n'avons pu les suivre jusqu'à leur passage à travers les terrains récents.

Le degré moyen de l'eau employée par les machines de l'Est est de 16, chiffre calculé en tenant compte de la quantité consommée dans chaque endroit; car il est bon de remarquer que les meilleures eaux se trouvent, en général, aux stations où l'on est obligé d'en consommer le plus. Avec cette teneur moyenne des eaux en sels solubles, on obtient un service satisfaisant : les tubes de 2^{mm} 1/2 d'épaisseur résistent à un parcours de 160.000 kilomètres environ.

IV. Nous avons dit que les chiffres du tableau A n'étaient que des moyennes. Généralement, les valeurs extrêmes s'écartent peu de la moyenne; quelques eaux, cependant, sont très-variables dans leur composition, suivant les époques, et suivant les circonstances atmosphériques.

Ce point de vue de la question se trouve développé dans le tableau B.

On observera, dans ce tableau, que les eaux dont la composition subit de grandes variations sont d'autant meilleures que leur niveau est plus élevé, d'autant plus mauvaises qu'on se rapproche de l'étiage. Cela tient probablement à ce que, dans les temps humides, il arrive dans les puits ou dans les rivières une grande proportion d'eau de pluie ayant simplement coulé à la surface du sol, sans pénétrer les couches solubles.

Cet effet se produit surtout entre Metz et Forbach, à Remilly, Faulquemont, Saint-Avold.

Dans une même localité, le même jour, et dans un rayon

de 1 kilomètre, on peut trouver des eaux très-différentes. Exemples au tableau C. Pour chaque série d'eaux à comparer, les analyses ont été faites le même jour. On voit que les eaux de puits, à Épernay, sont d'autant plus mauvaises qu'ils s'éloignent plus de la Marne. L'eau varie aussi suivant la profondeur des puits, suivant que l'épuisement y a fait baisser plus ou moins le niveau.

Nous donnons enfin la composition détaillée de quelques eaux analysées par la méthode complète de l'hydrotimètre. Cette étude aurait son importance dans le cas où l'on voudrait épurer les eaux par des réactifs déterminés, avant de les élever dans les réservoirs de distribution. Les eaux calcaires peuvent se purifier par la chaux; mais les eaux sulfatées doivent être traitées par la baryte.

En résumé, les considérations que nous venons de développer montrent avec quel soin il faut procéder lorsqu'on installe les prises d'eau d'une ligne nouvelle. Il faudra s'y prendre à l'avance pour ne pas se fier à une seule analyse: dès que le tracé sera déterminé, on analysera quelques eaux prises dans le voisinage des stations où l'on veut s'alimenter; il faudra répéter ces analyses plusieurs fois, pendant les hautes et basses eaux, tant qu'il n'y aura pas urgence de commencer la pose du réservoir. On ne devra pas craindre souvent de faire une installation première coûteuse; les frais de construction seront vite couverts par l'économie énorme qui en résultera pour l'exploitation.

TABLEAU A.

Le signe + mis devant le nom de la localité signifie que l'eau dont on donne le degré vis-à-vis est actuellement employée dans les machines.

LOCALITÉS.	PROVENANCE DE L'EAU.	TERRAIN superficiel.	DEGRÉ hydrotimétrique de l'eau.
+ Paris.	Seine.		17
+ Meaux.	Marne.		18
+ La Ferté-sous-Jouare.	*Id.*		18
+ Château-Thierry.	*Id.*		18
+ Dormans.	*Id.*		18
+ Epernay.	*Id.*		18
Reims.	Puits.	Craie.	31
+ Châlons.	Puits.	Craie.	24
Mourmelon.	Puits.	Craie.	42 (1)
+ Mourmelon.	Vesle.		18 (1)
+ Vitry-le-Français.	Puits.	Grès vert.	20 (2)
Vitry-le-Français.	Marne.		18
+ Blesme.	Sources	Grès vert.	22
+ Sermaize	Ornain.		20
+ Saint-Dizier.	Puits.	Grès vert.	40 (3)
Saint-Dizier.	Ornel.		20 (3)
+ Joinville.	Marne.		16
+ Bar-le-Duc.	Puits.	Oolithe supérieure.	25
+ Nançois-le-Petit	Sources et Ornain	*Id.*	23
+ Léronville.	Puits.	Oolithe moyenne.	23
+ Commercy.	Puits.	*Id.*	27
Commercy.	Meuse.		19
+ Toul.	Ingressin.		23
Frouard.	Puits.	Oolithe inférieure.	28 (4)
+ Frouard.	Canal (Marne au Rhin).		13 (4)
+ Nancy.	Etang Saint-Jean.	Oolithe inférieure.	25
+ Blainville.	Meurthe.		7 (5)
+ Lunéville	Puisard.		2
+ Sarrebourg	Sarre.		14
+ Saverne.	Zorn.	Grès rouge	8
+ Brumath.	Puits.	Diluvium.	32
Strasbourg.	Puits de 10 mètres.	*Id.*	32 (6)
+ Strasbourg.	Ruisseau des fossés.		14 (6)
Wissembourg.	Citerne.	Diluvium.	39 (7)
+ Wissembourg.	Lauter.		4 (7)
+ Haguenau.	Source.	Diluvium.	9
Haguenau.	Mader.		18
+ Schlestadt.	Puits.	Alluvions.	13
+ Colmar.	Puits.	*Id.*	7
+ Erstein.	Puits.	*Id.*	21

(1) A Mourmelon, le puits a été abandonné en 1861.
(2) Le puits est à 50 mètres de la Marne.
(3) A Saint-Dizier, on doit prochainement abandonner le puits pour l'Ornel.
(4) A Frouard, le puits est abandonné depuis 1862.
(5) La Meurthe et la Sarre sortent des grès des Vosges; la Zorn sort du grès rouge.
(6) A Strasbourg, le puits ne servirait qu'en cas de réparation de la machine élévatoire.
(7) La citerne de Wissembourg a été abandonnée en 1862.

TABLEAU A (*suite*).

LOCALITÉS.	PROVENANCE DE L'EAU.	TERRAIN superficiel.	DEGRÉ hydrotimétrique de l'eau.
+ Rouffach	Puits	Alluvions	19
+ Thann	*Id.*	*Id.*	10
Thann	Thurr		3
+ Wesserling	Puits	Transition	2
+ Epinal	*Id.*	Grès rouge	2
+ Charmes	Moselle		11
+ Pont-à-Mousson	Puits	Oolithe inférieure	28
+ Montigny-lès-Metz	Moselle		12
Montigny-lès-Metz	Puits	Calcaire à gryphées	43
+ Remilly	La Nied		73 (1)
+ Faulquemont	Puits de 20 mètres	Muschelkalk	25
+ Saint-Avold	Sources	*Id.*	37
+ Forbach	Puits	*Id.*	4
+ Thionville	*Id.*	Calcaire à gryphées	37
Thionville	Moselle		17
+ Bettembourg	L'Alsette		28
+ Luxembourg	L'Alsette		19
+ Mersch	Puits	Muschelkalk	25
+ Diekirch	La Sure		8 (2)
+ Bâle	Puits	Alluvions	30
Bâle	Le Rhin		17
+ Saint-Louis	Puits	Alluvions	30
Mulhouse	*Id.*	*Id.*	30
+ Mulhouse	Source		3 (3)
+ Dannemarie	Puits	Alluvions	25
+ Belfort	*Id.*	Oolithe supérieure	14
+ Lure	*Id.*	Marnes irisées	20
+ Champagney	*Id.*	Grès rouge	6
+ Vesoul	La Colombine		23 (4)
Vesoul	Puits	Oolithe inférieure	29
+ Port-d'Atelier	*Id.*	*Id.*	4
+ Aillevillers	*Id.*	Grès bigarré	3 (5)
+ Xertigny	Sources	*Id.*	4
+ Villexon	La Romaine		23
+ La Ferté-Bourbonne	Puits	Calcaire à gryphées	38
La Ferté-Bourbonne	L'Amance		44
+ Gray	La Saône		16
+ Champlitte	Le Saôlon		21
+ Chalindrey	*Id.*		19
Chalindrey	Sources	Oolithe inférieure	25
+ Rolampont	*Id.*	*Id.*	22
+ Chaumont	La Suize		19
+ Vignory	Source	Oolithe moyenne	18
+ Bricon	Puits	*Id.*	20
+ Maranville	*Id.*	*Id.*	27
+ Bar-sur-Aube	*Id.*	*Id.*	22
+ Vendeuvre	La Darse	Oolithe supérieure	20

(1) A Remilly, toutes les eaux sont également mauvaises.
(2) La Sure naît dans le terrain de transition.
(3) Cette source est amenée de loin.
(4) La Colombine sort des marnes irisées.
(5) Le puits est voisin de l'Augronne.

TABLEAU A (*suite*).

LOCALITÉS.	PROVENANCE DE L'EAU.	TERRAIN superficiel.	DEGRÉ hydrotimétrique de l'eau.
+ Troyes	Seine	....	17
Troyes	Puits près de la gare	Craie	27
+ Mesgrigny	Puits	*Id.*	14
+ Romilly	*Id.*	*Id.*	18
+ Nogent-sur-Seine	*Id.*	*Id.*	30
+ Flamboin	*Id.*	*Id.*	25
+ Longueville	Source	Tertiaire inférieur	25
+ Naugis	*Id.*	*Id.*	22
+ Coulommiers	Puits	....	25
Coulommiers	....	Tertiaire inférieur	46
+ Gretz	Citernes	*Id.*	32
+ Nogent-sur-Marne	Marne	....	22 (1)
+ La Varenne	Puits	Tertiaire inférieur	38
	Ligne des Ardennes.		
+ Fismes	Puits	Tertiaire inférieur	40 (2)
+ Laon	*Id.*	Craie	37
+ Guignicourt	L'Aisne	....	18
+ Bazancourt	La Suippe	....	18
+ Rethel	L'Aisne	....	17
+ Launois	Puits	Oolithe moyenne	31
Mohon	*Id.*	Oolithe inférieure	41
+ Charleville	La Meuse	....	17
+ Montmédy	Sources	Oolithe inférieure	21
+ Carignan	Affluent de la Meuse	....	17
+ Deville	La Meuse	....	17
+ Fumay	*Id.*	....	17
+ Givet	Puits	Terrain de transition	24

(1) Station de la ligne de Vincennes.

(2) Le puits de Mohon sera prochainement abandonné, lorsqu'on aura mis en communication les deux réservoirs de Mohon et de Charleville, dont la distance réciproquement n'est que de 1.500 mètres.

TABLEAU B.

PROVENANCE DE L'EAU.	DATE de l'analyse.		DEGRÉ hydrotimétrique de l'eau.	OBSERVATIONS.
Marne à Épernay	Août	1855	19	
	Juin	1860	17	
	Août	1861	16 1/2	Basses eaux.
	Janvier	1862	21	Hautes eaux.
	Mai	1862	17	
Puits de la gare à la Ferté-sous-Jouarre	Août	1855	72	
	Février	1860	73	
La Lauther, à Wissembourg	Octobre	1855	6	
	Mai	1860	4	
	Mars	1862	4 1/2	
Meurthe, à Nancy	Octobre	1855	14	
	Avril	1860	12	
Le Saôlon, à Champlitte	Août	1856	22	
	Septembre	1861	21	
Puits sur le bord de la Marne, à Nogent-sur-Marne	Août	1861	80	Basses eaux.
	Février	1862	29	Hautes eaux
	Janvier	1863	31	Hautes eaux.
Puits de la gare de la Varenne-Saint-Maur	Septembre	1861	34	
	Mai	1861	43	
	Janvier	1861	36	
Puits de la gare de Reims	Janvier	1856	38	
	Février	1860	27	
	Août	1861	32	
Puits de la gare de Pont-à-Mousson	Octobre	1860	27	
	Juin	1862	31 1/2	
	Décembre	1862	25	
Puits de la gare, à Rémilly	Avril	1860	44	
	Mars	1861	72	
	Septembre	1861	62	
	Décembre	1862	61	
Rivière de Faulquemont	Mars	1861	24	Hautes eaux.
	Avril	1861	65	
	Septembre	1861	96	Hautes eaux.
	Avril	1862	25	
Puits de la gare de Faulquemont	Mars	1861	37	Le puits de la gare de Faulquemont est à 200m environ de la rivière.
	Avril	1861	36	
	Septembre	1861	39	
	Avril	1862	23 1/2	
Puits de la gare de Saint-Avold	Avril	1860	22	
	Septembre	1861	62	Basses eaux.
	Avril	1862	55	
	Janvier	1863	33	
Puits de la gare de Forbach	Avril	1860	3 1/2	
	Avril	1862	4	
	Septembre	1861	4	
Source de la tranchée de Haguenau	Janvier	1857	10	
	Mai	1860	8	
	Janvier	1863	8	
Puits de la gare de Gretz	Septembre	1856	25	
	Mai	1860	40	
	Janvier	1863	32	

TABLEAU B (*suite*).

PROVENANCE DE L'EAU.	DATE de l'analyse.		DEGRÉ hydrotimétrique de l'eau.	OBSERVATIONS.
La Voulzie, à Longueville	Mars	1857	26	
	Avril	1860	24	
	Mars	1863	26	
La Darse, à Vendeuvre	Janvier	1857	22	
	Mars	1860	19	
Source de Rolampont	Août	1856	22	
	Mars	1860	22	
Eau du souterrain de Culmont (près Chalindray)	Août	1859	25	
	Mars	1860	27	
	Mai	1860	22	
Puits de la gare de La Ferté-Bourbonne	Septembre	1861	106	Basses eaux.
	Novembre	1861	68	Après des pluies.
	Février	1883	92	
L'Amance, à la Ferté-Bourbonne	Novembre	1861	37	
	Février	1863	52	
Source amenée à Mulhouse	Mai	1860	3	
	Février	1861	3 1/2	
Puits de la gare de Bâle	Mai	1860	30	
	Janvier	1861	31	

TABLEAU C.

PROVENANCE DE L'EAU.		DEGRÉ hydrotimétrique.	OBSERVATIONS.
Épernay	La Marne	18	
	Puits des Ateliers	32	A 180m de la Marne.
	Puits particulier	34	A 80m de la Marne.
	Puits particulier	63	A 400m de la Marne.
	Le Cubry	25	
Reims.	Puits particulier	21	Tout près de la gare.
	Puits de la gare des marchandises	19	
	Puits de la gare des voyageurs	32	
	La Vesle	16	
Troyes.	Vieille-Vienne	27	
	Puits particulier	27	
	Seine	17	

TABLEAU D.

PROVENANCE DE L'EAU.	Acide carbonique libre.	Carbonate de chaux.	Sulfate et autres sels de chaux.	Sels de magnésie.	OBSERVATIONS.
Ancien puits de Meaux........	3	17	6	1	Le 18 mars 1860.
Marne, à Meaux...........	1	15 1/2	»	2	
Ancien puits de Château-Thierry.	2	26	1	9	
Ancien puits d'Epernay.......	1/2	22	4 1/2	2	15 janvier 1860.
Marne, à Epernay.........	1/2	17	»	1/2	
Puits de Saint-Dizier........	»	21	1	»	
Source de Vignory.........	»	18	»	»	
Puits de Bar-le-Duc.........	5	15 1/2	2 1/2	»	
Puits de Commercy.........	5	20	8	4	
Puits des ateliers de Montigny..	»	27	15	1	A 5 kilom. de Metz.
Étang Saint-Jean à Nancy.....	»	9 1/2	5 1/2	4	
Meurthe, à Blainville........	6	4 1/2	3	»	
Sarre, à Sarrebourg.........	»	6 1/2	1 1/2	»	
Puits du dépôt de Strasbourg...	1	20	»	11	
Ruisseau des fossés de Strasbourg.	3	10	1	»	
Puits de Wissembourg.......	»	28	1	10	
Puits de Schlestadt.........	1	7	5	»	
Puits de la gare de Bâle......	1	23	»	6	
Puits de Belfort...........	1	12	1	»	
Puits de Lure............	2	9	9	»	
La Colombine, à Vesoul......	5	15	3	»	
La Saône, à Gray..........	3	4	9	»	
Source de Rolampont.......	2	17	3	»	
La Suize, à Chaumont.......	1	17	»	1	
Puits de Bar-sur-Aube.......	1	21	»	»	
La Darse, à Vendeuvre.......	1	15	4	»	
La Seine, à Troyes.........	»	16	1	»	
Puits de Romilly..........	7	7	4	»	
Source de Longueville.......	»	17	7	»	
Source de Nangis..........	3	10	9	»	
Puits de Greitz...........	1/2	16	8	7 1/2	
Rhin, à Bâle.............	»	16	1	»	29 décembre 1860.
Puits de la Gare de Mourmelon..	»	27 1/2	12 1/2	»	Camp de Châlons.
Puits de la Varenne-Saint-Maur.	2	16	9	1	

NOTE SUR LA LAMPE ÉLECTRIQUE

DE MM. DUMAS ET BENOIT, ET SUR SON APPLICATION AU TIRAGE DES COUPS DE MINES.

Par M. PARRAN, ingénieur des mines.

Exposé. — L'éclairage des mines peut être considéré aujourd'hui comme établi d'une manière satisfaisante dans les cas ordinaires, au point de vue de la sécurité des travailleurs, de l'économie et des exigences diverses du service.

Les hommes pratiques reconnaissent la sûreté de la lampe Mueseler dans les mélanges les plus explosifs, l'éclat de la lumière projetée à travers l'enveloppe de cristal, et la convenance d'affecter un certain nombre de ces lampes à chaque exploitation houillère pour l'éclairage des chantiers à grisou et pour les tournées d'inspection dans la mine.

Nous rappellerons également les avantages que présentent la mèche plate calibrée et la vis de manœuvre de la mèche dans la lampe Dubrulle nouveau modèle, sans attacher d'ailleurs une très-grande importance au mode de fermeture proposé par ce constructeur. La question de la préférence à donner au cylindre métallique restreint et à mailles fines de M. Dubrulle sur le cylindre plus grand et à mailles plus lâches de la lampe Davy employée dans les bassins du Gard et de la Loire, nous paraît devoir être réservée. On comprend toutefois que la combustion de la mèche étant mieux réglée dans le modèle Dubrulle, les dimensions du cylindre métallique puissent être réduites sans crainte d'un échauffement plus intense du tamis, à la condition de resserrer les mailles parce qu'elles sont plus rapprochées de la flamme.

Mais il se présente des cas où l'éclairage ordinaire, malgré ses perfectionnements, fait absolument défaut :

1° S'il faut éclairer sans y pénétrer des excavations pleines de gaz irrespirables ou faire des perquisitions dans des puisards ; ces cas sont assez rares ;

2° S'il faut pousser des avancements ou tenter un sauvetage dans les parties de la mine où les lampes refusent de brûler.

Souvent, en effet, il faut effectuer des percements dans des galeries où l'abondance de l'azote ou du grisou fait éteindre la lampe.

Souvent des ouvriers sont pris derrière des éboulements ou séquestrés par un accident quelconque dans un quartier de la mine où l'air non délétère, mais à peine respirable, ne permet pas aux sauveteurs de s'éclairer.

Si l'on ne peut aérer d'une manière suffisante et dans un temps donné les chantiers où le mauvais air est accumulé, force est d'abandonner des travaux utiles à l'exploitation, ou, lorsqu'il s'agit d'un sauvetage, de laisser périr les victimes.

Un mode d'éclairage qui permettrait d'effectuer en toute sécurité ces travaux exceptionnels serait un grand bienfait pour les mineurs et un progrès décisif dans la voie des améliorations humanitaires ouverte par l'immortel Davy.

Nous considérons ce progrès comme réalisé dès aujourd'hui par la lampe électrique de MM. Dumas et Benoît, qui fait l'objet de cette note.

L'idée d'appliquer la lumière électrique à l'éclairage des mines se présenta naturellement à l'esprit à la suite des beaux résultats obtenus par l'incandescence des charbons aux deux pôles d'un courant voltaïque.

M. de la Rive annonce dans son *Traité d'électricité* (*) qu'il a proposé en 1846 un appareil d'éclairage électrique

(*) Paris, 1858, tome III, pages 313-315.

pour les mines, mais que la première idée de cette application appartient à M. Louyet et à M. Boussaingault.

M. Boussaingault proposait une pile fixe munie de longs conducteurs permettant de porter la lumière partout où l'on en a besoin.

M. de la Rive avait proposé d'adapter à un ballon hermétiquement fermé, dans lequel se trouvent les deux pointes de charbon disposées et préparées convenablement, une petite pile portative, mais très-forte (amalgame de potassium et platine avec acide sulfurique étendu et chlorure de platine), dont les deux pôles auraient été mis respectivement en communication au moyen de fortes tiges de cuivre scellées au ballon avec les charbons intérieurs.

Ces dispositions auraient difficilement permis l'usage pratique de l'appareil dans la mine à cause de l'échauffement du récipient lumineux, et du faible effet utile que peut donner pour cet objet une pile portative agissant par courant direct.

Avec une pile fixe, les conducteurs auraient été très-embarrassants; leur enveloppe isolante frottant contre les parois des puits et des galeries aurait été promptement déchirée.

C'est en mettant à profit les curieuses découvertes de ces dernières années que MM. Dumas, ingénieur aux mines de fer du Lac près Privas (Ardèche) et Benoît, docteur en médecine, sont parvenus à construire leur lampe électrique.

Les phénomènes singuliers d'électrisation des courants par influence, révélés en 1832 par l'illustre Faradey sous le nom d'*induction*, l'énergie et la régularité de ces courants obtenues par l'appareil de M. Rhumkorff, les surprenants effets de lumière stratifiée et de fluorescence qu'ils produisent dans certaines conditions, ont fourni les éléments de la solution du problème.

La lampe électrique a été présentée, à la suite des premiers résultats satisfaisants obtenus, à la Société des sciences

naturelles de l'Ardèche, dans les séances du 9 janvier et 7 août 1862.

Elle a été soumise à l'examen de l'Académie des sciences le 8 septembre (*).

Enfin, montée et complétement disposée pour l'usage pratique de la mine, elle a été essayée par M. Dumas et par nous dans les houillères de Bességes, de Lalle, de Rochebelle et de la Grand-Combe les 18, 19 et 21 octobre.

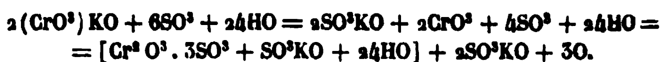
L'appareil se compose de trois parties essentielles :

1° Un élément de pile, type Bunsen modifié ;

2° Une bobine de Rhumkorff ;

3° Un tube fluorescent de Geissler.

1° *Élément de pile.* — Il se compose d'un vase cylindrique en zinc recouvert extérieurement d'une enveloppe isolante en caoutchouc, d'un vase poreux et d'un charbon creux cylindrique. Le zinc a environ 20 centimètres de hauteur et 10 centimètres de diamètre intérieur ; les liquides occupent une hauteur de 15 centimètres. La pile se garnit avec de l'eau et de l'acide sulfurique, en jetant de plus dans le vase poreux du bichromate de potasse. Si le zinc est bien amalgamé et le dosage fait en proportions convenables, l'appareil fonctionne pendant douze heures. A l'extérieur, il se forme du sulfate de zinc et dans le vase poreux de l'alun de chrôme.



$$2(CrO^3)KO + 6SO^3 + 24HO = 2SO^3KO + 2CrO^3 + 4SO^3 + 24HO =$$
$$= [Cr^2O^3 . 3SO^3 + SO^3KO + 24HO] + 2SO^3KO + 3O.$$

Le pôle positif est au charbon et le pôle négatif au zinc.

2° *Bobine de Rhumkorff.* — Renvoyant pour la description de la bobine à tous les traités spéciaux publiés dans ces dernières années, nous rappellerons seulement que cet appareil se compose d'une hélice inductrice en fil de cuivre

---

(*) *Comptes rendus*, tome LV, page 459.

de 2 millimètres de diamètre et d'une hélice induite en fil de cuivre très-mince (n° 16 du commerce) d'une longueur de plusieurs kilomètres, noyées toutes deux dans une enveloppe isolante et enroulées sur un noyau cylindrique commun; d'un faisceau de fils de fer doux placé dans l'axe de la bobine; d'un interrupteur ou marteau oscillant mis en mouvement par le courant principal, enfin d'un condensateur.

M. Rhumkorff forme ce condensateur, dont l'idée première est due à M. Fizeau, de deux feuilles de papier d'étain collées des deux côtés d'une bande de taffetas gommé et repliées entre deux autres bandes du même taffetas. Il le place dans l'intérieur de la planche servant de support à la bobine, et met les armures en communication avec le courant inducteur.

Les physiciens ne sont pas d'accord sur la théorie du condensateur, mais son effet pratique est parfaitement constaté : l'étincelle de l'interrupteur diminue d'intensité et le courant induit prend une plus grande extension (*).

Lorsqu'on fait passer le courant voltaïque dans le fil inducteur, il se produit aux pôles du courant induit des phénomènes divers, suivant que les pôles de ce courant sont réunis ou séparés par des milieux isolants ou conducteurs.

Voici l'un des plus saillants et qui reçoit son application dans la lampe électrique :

Lorsque le circuit induit est interrompu et que les deux pôles demeurent séparés, le courant induit direct est le seul qui se manifeste.

L'hélice induite peut alors être parcourue par un courant à effet continu, de sens invariable, présentant des pôles aussi bien définis que ceux d'une pile voltaïque, et permettant de

---

(*) Du Moncel. *Notice sur la machine d'induction*, 4e édition, page 10.

reproduire dans le récipient connu sous le nom d'*œuf électrique*, l'étincelle et les apparences lumineuses (*).

La bobine de la lampe que nous avons expérimentée a 150 millimètres de longueur et 46 de diamètre extérieur.

3° *Tubes de Geissler.* — On appelle ainsi des tubes de forme très-variable renfermant un gaz dilaté, à travers lequel, au moyen de deux électrodes, on peut faire passer le courant électrique.

Ces tubes imaginés par M. Geissler, habile constructeur d'instruments de physique à Bonn, ont commencé à se répandre en Allemagne et en Hollande dès l'année 1856; ils ont été depuis signalés par M. Rhumkorff aux physiciens français.

Ils sont en verre ou en cristal; leurs extrémités fermées à la lampe dans les conditions du vide sont traversées par deux fils de platine.

Si l'on emprisonne à l'intérieur une petite quantité d'une vapeur ou d'un gaz propre à manifester la stratification de la lumière électrique, et si l'on réunit les fils de platine aux deux extrémités du fil induit de l'appareil de Rhumkorff alimenté par un ou plusieurs éléments, on aperçoit dans toute la longueur du tube une série de nappes lumineuses séparées les unes des autres par des intervalles obscurs.

Un intervalle obscur assez large sépare généralement le pôle négatif de la première couche lumineuse; mais immédiatement en contact avec le pôle négatif lui-même, on voit une atmosphère lumineuse divisée en couches extrêmement fines. La couleur, l'éclat, le spectre, en un mot, les divers caractères de cette lumière dépendent de la substance gazeuse renfermée dans le tube, de la nature, de la forme de ce tube et, d'après de récentes expériences de MM. Plucker et Hittorf, de la puissance de l'appareil inducteur et de la

(*) *Annales de physique et chimie*, 3ᵉ série, tome XLIV, pages 375 et 383.

température développée par le passage du courant (*).

La lumière électrique qui se produit dans le vide des tubes de Geissler est influencée par l'approche des aimants et même des corps simplement conducteurs, ainsi que l'ont constaté MM. Plucker et Riess. Elle peut aussi acquérir un éclat plus vif et plus égal en utilisant la fluorescence du verre qu'elle est particulièrement apte à développer.

Les phénomènes de fluorescence (persistance lumineuse des corps sous l'influence de l'électricité) intervenant pour une part dans les effets de la lampe électrique, nous croyons utile d'en dire quelques mots.

M. E. Becquerel a constaté qu'en introduisant certaines substances phosphorescentes en poudre ou en fragments, telles que les sulfures et fluorures alcalino-terreux, dans des tubes fermés où l'air a été raréfié à 1 ou 2 millimètres de pression, et en faisant passer dans ce tube des décharges électriques provenant d'une bobine de Rhumkorff, on obtient une lumière continue dont l'intensité et la couleur dépendent de l'énergie du courant et de la nature des substances renfermées dans le tube. Cette lumière ne produit pas d'échauffement appréciable (**).

Ce savant a annoncé ultérieurement (***) que M. Rhumkorff avait observé que dans certains tubes de verre construits par M. Geissler, et ne renfermant que des gaz raréfiés, on voyait après le passage des décharges des traces lumineuses persistant seulement pendant plusieurs secondes et analogues à celles que répandent les matières phosphorescentes électrisées dans le tube.

La fluorescence du verre sous l'influence de la lumière électrique se manifeste nettement, d'après M. Gassiot, lors-

---

(*) *Annales de physique et chimie*, 3e série, tome LIV, pages 243-249. — *Cosmos*, tome XXI, page 283.

(**) *Annales de physique et chimie*, tome LV, page 93.

(***) *Annales de physique et chimie*, tome LVII, page 108.

qu'on fait passer le courant d'induction dans un tube de Geissler dont une moitié est en verre anglais à base de plomb et l'autre en verre allemand à base de potasse. La première moitié donne une fluorescence verte et la seconde une fluorescence bleue (*).

Les effets lumineux obtenus dans les tubes de Geissler, par le courant induit de la bobine Rhumkorff, ont été étudiés, ces derniers temps, par les physiciens et appliqués à diverses recherches scientifiques, notamment à l'analyse spectrale des gaz et des vapeurs par MM. Plucker et Hittorf.

Mais l'idée d'utiliser la fluorescence des tubes pour établir un appareil d'éclairage portatif destiné aux mineurs, et la réalisation pratique de cette idée qui présentait des difficultés appartiennent en propre à MM. Dumas et Benoît.

La bobine et les éléments de pile étant nécessairement très-limités en volume et en poids lorsqu'il s'agit d'un appareil portatif pour la mine, c'est la nature et la pression des gaz emprisonnés, le dosage de la pile, la forme et la composition chimique du tube en verre qu'il faudra faire varier et combiner ensemble pour obtenir le plus grand effet utile sous le triple rapport de l'intensité, de la régularité et de la durée.

Les dispositions indiquées ci-dessous sont celles qui jusqu'ici ont donné les meilleurs résultats avec la bobine petit modèle, et l'élément de pile à bichromate dont nous avons parlé.

Les tubes renferment, emprisonnés sous une pression de 8 à 11 centimètres de mercure, d'après MM. Dumas et Benoît, des vapeurs métalliques (mercure, perchlorure de zinc, etc.), et certains gaz tels que l'azote, l'acide carbonique, l'hydrogène, etc. On évitera d'employer ceux qui,

(*) Du Moncel. *Notice sur la bobine de Rhumkorff*, 4e édition, page 325.

sous l'action du courant, donneraient lieu à des dépôts dans l'intérieur du tube.

Les expériences ont été faites dans les mines d'Alais avec le tube n° 1 (*fig.* 1, Pl. XIII). Dans les modèles représentés *fig.* 1, 2, 3, les parties enroulées en hélice ou disposées en appendice ont un diamètre extérieur de 2 à 3 millimètres et un diamètre intérieur de 1 millimètre environ.

Il y a encore probablement beaucoup de recherches à faire pour arriver au meilleur modèle de tube; les détenteurs des appareils pourront profiter de tous les perfectionnements ultérieurs, en substituant les nouveaux tubes aux anciens.

Dispositions de la lampe électrique. — Voici de quelle manière la lampe électrique est établie.

La pile et la bobine parfaitement isolées, sont assujetties d'une manière invariable dans les deux compartiments d'une espèce de giberne en cuir ou en caoutchouc durci, qui se porte suspendue en bandoulière, par une forte courroie, comme un sac de chasse. Un couvercle en bois avec garniture en caoutchouc couvre cette giberne, le joint est rigoureusement imperméable.

Le tube de Geissler est pris dans une enveloppe cylindrique de cristal; deux armatures en cuivre reliées par quatre tringles et recouvertes de caoutchouc maintiennent et protégent cette enveloppe.

Le tube rappelle ainsi par sa forme la lampe de sûreté ordinaire.

La communication avec l'hélice induite est établie par deux rhéophores bien isolés, d'une longueur suffisante. Le tube peut se fixer par un support et des brides contre la face antérieure de la giberne, de manière à éclairer la marche du mineur en lui laissant les bras libres; il peut aussi être porté à la main, placé dans toutes les positions et éloigné du sac de toute la longueur des rhéophores. Le poids total

de l'appareil est d'environ 5k,5 ; bien que formé d'organes essentiellement délicats, cet appareil une fois chargé et fermé est à l'abri de toute atteinte, et peut être confié à un ouvrier quelconque.

La main agit à volonté sur le courant de la pile au moyen d'un simple bouton isolant qui fait saillie sur le couvercle du sac; une vis en cuivre commandée par ce bouton établit ou interrompt la communication entre les deux parties fixes d'une tringle métallique rigide par le moyen d'un chapeau à palier; cette tringle rigide réunit la pile à la bobine et est traversée par le courant inducteur quand la vis est poussée à fond.

Les gaz qui se dégagent dans l'intérieur de la pile peuvent être expulsés au moyen d'une tige fixe en matière isolante, traversant le couvercle du sac et celui de l'élément. Cette tige évidée, suivant son axe, forme une cheminée dont l'orifice supérieur vient déboucher à l'air libre. Il suffit d'enlever un petit tampon pour purger la pile.

Avantages de l'appareil. — L'appareil ainsi construit a été éprouvé dans les houillères d'Alais, et a donné lieu aux observations suivantes.

L'imperméabilité des joints est aussi complète que possible ; aucune émanation acide n'est perçue.

Quand on fait passer le courant, le tube s'éclaire d'une vive lueur fluorescente qui se condense et prend une intensité particulière dans le verre capillaire; quand on interrompt le courant, la lumière disparaît; ces effets sont instantanés et s'obtiennent en tournant le bouton qui fait saillie sur le couvercle du sac.

Le tube ne prend aucun échauffement sensible; la lumière ne peut être mise en communication avec les gaz extérieurs, car elle ne se produit qu'en vertu de la raréfaction intérieure, et cesserait si la fermeture du tube n'était pas étanche.

L'intensité de la lumière, un peu inférieure à celle d'une

lampe de sûreté, lui devient égale lorsque cette dernière a brûlé quelques heures, et la surpasse dans les chantiers mal aérés. Elle est, à notre avis, susceptible d'être augmentée par les perfectionnements de l'appareil; mais dès à présent elle est suffisante pour éclairer le mineur dans sa marche et dans son travail, pour la lecture de la boussole, l'écriture sur les carnets, en un mot pour toutes les exigences du métier.

La lumière donnée par le tube soumis à nos expériences rappelle, sauf la différence d'intensité, celle que produit le ver luisant dans les nuits d'été; elle est bleuâtre, d'une douceur et d'une pureté remarquables. Il y aura lieu de vérifier si elle exerce une influence sensible sur les boussoles de mines, et dans l'affirmative, d'en étudier les effets.

L'appareil est à la fois très-solide et très-portatif. Les mains restent libres, ce qui permet de franchir les passages difficiles, de monter ou descendre aux échelles. Pendant une tournée de trois heures assez accidentée dans les mines de la Grand-Combe, la lampe a conservé son éclat, et n'a donné aucun embarras au porteur. Le sac peut à volonté être déposé à terre, et le tube éclairant transporté où l'on veut, aussi loin que le permet la longueur des rhéophores. La pile n'a besoin d'être regarnie qu'environ toutes les douze heures, et les matières employées ne coûtent pas plus de $0^f,25$. Ce sont les conditions de durée et d'entretien d'une lampe de sûreté ordinaire.

Il est presque superflu d'ajouter que la lampe électrique conserve son éclat dans un milieu quelconque, et que le tube peut être plongé dans l'eau. Elle ne présente aucun danger d'explosion, même en supposant une rupture du tube dans les mélanges détonants, la distance des électrodes étant au moins de 17 centimètres.

Elle nous paraît donc parfaitement propre à remplir le but que se sont proposé les inventeurs, dans certains travaux de mines exceptionnels où les lampes ordinaires font

absolument défaut, par exemple : s'il s'agit de marcher rapidement au secours de travailleurs menacés d'un danger; de poursuivre l'avancement de chantiers indispensables, impossibles à ventiler, et où l'air, quoique entretenant encore la respiration, est devenu impropre à la combustion des lampes.

Une des grandes difficultés, lors des premiers travaux de sauvetage aux mines de Lalle, fut d'éclairer les puits inclinés qu'on creusait dans le charbon pour délivrer deux ouvriers. Malgré les ventilateurs, les lampes s'éteignaient sans cesse et achevaient de vicier l'air; il fallait une chaîne d'hommes pour la transmission et le rallumage des lampes; sans les ressources que nous procura pour cette partie du service le concours empressé des exploitations voisines, le sauvetage n'eût peut-être pas obtenu un si prompt succès.

Une lampe électrique placée à chaque avancement aurait évité ces graves embarras.

Plus tard on employa plus de deux heures pour retirer le dernier des trois hommes qui furent sauvés après 14 jours d'angoisse, parce qu'il fallait éclairer le passage et poser des tuyaux d'aérage pour faire brûler les lampes. Le sauvetage eût été accompli en dix minutes avec le secours de la lampe électrique.

Les mineurs qui ont assisté aux expériences faites par M. Dumas et par nous dans les houillères d'Alais, ont tous compris et apprécié les avantages pratiques de l'appareil. La seule objection qu'ils aient faite, et qui du reste est suggérée par le simple bon sens, c'est qu'il n'avertit pas le mineur du danger qui le menace lorsqu'il pénétre dans un milieu chargé d'acide carbonique ou de grisou. Il sera en effet nécessaire de consulter les indices que l'expérience a fait connaître, c'est-à-dire l'aspect de la flamme dans une lampe ordinaire, l'action des gaz sur les yeux, le palais, et l'odorat; de recourir enfin aux analyses eudiométriques recommandées par M. Paul Thénard, faciles à pratiquer avec

l'appareil lui-même; il faudra aussi dans certains cas employer les appareils respiratoires, par exemple, lorsque l'ouvrier devra pénétrer dans les milieux irrespirables.

On comprend que les applications de la lampe électrique peuvent devenir très-nombreuses en dehors de l'exploitation des mines. Dans la note qu'ils ont lue devant l'Académie des sciences, le 8 septembre 1862, les inventeurs ont mentionné : les réparations des tuyaux dans les usines à gaz, le nettoyage des égouts, les visites dans les poudrières, les ateliers où sont élaborées des substances inflammables, etc......

Application de la lampe électrique au tirage des coups de mines. — Nous insisterons seulement sur une application importante qui rentre dans notre sujet, le tirage des coups de mine par l'électricité. Ce système présente dans beaucoup de cas un avantage incontestable sur le tirage ordinaire. Employé déjà dans certaines mines de l'Ardèche et du Gard pour le fonçage des puits, il est destiné à prendre une large place dans toutes les exploitations lorsque la connaissance des appareils électriques si utiles, et encore si peu familiers au public se sera vulgarisée.

A notre connaissance, la première application pratique de l'électricité au tirage des coups de mines dans le creusement des puits, a été faite en 1851, dans les mines de fer du Lac, près Privas, Ardèche, par MM. Dumas, l'un des inventeurs de la lampe, et Castel, ingénieur des mines (*Annales des mines*, 5e série, t. 2, p. 199).

Le feu était communiqué à la poudre par l'incandescence d'un fil de fer très-fin réunissant les deux pôles d'un courant voltaïque direct.

Voici les résultats obtenus :

Il fallait six à dix éléments ordinaires de Bunsen, pour enflammer un seul coup de mine.

La terre ne pouvait entrer dans le circuit; deux conduc-

teurs étaient nécessaires pour réunir les pôles de la batterie aux extrémités du porte-feu.

Le tirage ainsi pratiqué dans un puits à roches dures, avec une affluence d'eau considérable fut reconnu très-avantageux pour la régularité du travail, et, chose capitale pour la sécurité des ouvriers.

Rien n'est peut-être plus dangereux dans le rude métier de mineur que de mettre le feu aux coups de mines au fond d'un puits. Le plus léger incident, le moindre retard dans l'enlèvement de la benne peuvent devenir fatals. Dernièrement, dans un travail de fonçage aux environs d'Alais, l'un des deux ouvriers qui commençaient à remonter par la benne après avoir allumé la mèche retomba dans le puits; il ne se fit aucun mal, mais il aurait probablement été tué par l'explosion sans le dévouement de son camarade qui sauta à ses côtés, et eut le courage et le bonheur d'éteindre la mèche.

Le tirage électrique fait disparaître tout péril de ce genre, car le courant n'est transmis et le coup de mine enflammé que sur le signal du mineur lui-même, et après qu'il s'est mis à l'abri.

Toutefois le procédé employé avec succès par MM. Dumas et Castel se serait difficilement propagé à cause des embarras que la batterie voltaïque entraîne avec elle, et serait probablement resté dans le domaine de la théorie, si les effets obtenus par les appareils d'induction n'eussent permis de simplifier le problème et d'arriver à des résultats inespérés.

En se servant des fusées de Stateham, M. Rhumkorff est parvenu, il y a une dizaine d'années, à enflammer infailliblement la poudre par l'étincelle d'induction, avec un seul élément de pile et une bobine de petite dimension.

Ces fusées se composent, comme on sait, de deux fils conducteurs en cuivre ou plus simplement en fer galvanisés dont les extrémités libres se réunissent aux réophores du

courant induit, et dont les autres extrémités sont placées, comme l'indique la *fig.* 4, Pl. XIII, en regard l'une de l'autre, à une distance de 2 à 3 millimètres dans un petit tube ou manchon échancré, *mn*, en gutta-percha. L'intérieur de ce manchon est tapissé d'une légère couche de sulfure de cuivre qui joue le rôle de conducteur secondaire entre les deux fils et donne lieu à une étincelle suffisante pour enflammer une pincée de fulminate de mercure appliqué sur l'échancrure du tube, dans un petit sac en caoutchouc rempli de poudre fine de chasse; celle-ci prend feu également et détermine l'explosion du coup de mine dans la charge duquel plonge le sachet.

L'emprisonnement du fulminate au milieu de la poudre fine enveloppée de caoutchouc suffit pour le garantir; on peut manier et choquer les fusées sans aucun danger d'explosion.

Lorsqu'on fait entrer la terre dans le circuit, l'un des fils de la fusée a seul besoin d'être isolé, et est noyé dans une gaîne de gutta-percha, comme l'indique la figure. C'est par l'emploi de l'appareil Rhumkorff et des fusées de Stateham, que M. du Moncel, à l'aide de combinaisons ingénieuses pour transmettre les courants, a obtenu de si remarquables effets en 1854 dans les *mines monstres* du port de Cherbourg.

Ce mode de tirage fut aussi appliqué avec succès, il y a environ huit ans, par M. Houpeurt, ingénieur des mines, dans le creusement d'un puits à Saint-Étienne, et plus récemment il a été pratiqué d'une manière suivie par M. Dumas, aux mines de fer du Lac, près Privas, et par M. Jouguet, aux mines de fer de Bességes (*).

L'expérience a permis de déterminer les conditions dans

(*) Ces deux mines appartiennent à la Société des fonderies et forges de Terre-Noire, Lavoulte et Bességes.

lesquelles il faut se placer pour obtenir un tirage facile et régulier.

Il est très-avantageux de supprimer l'un des conducteurs en faisant entrer la terre dans le circuit; on évite ainsi l'encombrement du puits, les difficultés d'isolement pour l'un des fils, les dépenses d'achat et d'entretien. Avec un ou deux éléments ordinaires de Bunsen, dosés au bichromate de potasse et une bobine, petit modèle, on peut aisément enflammer à la fois quatre coups de mines au moins.

Les fusées de Statebam, avec un seul conducteur isolé, établies avec les simplifications indiquées sur la figure, présentent à peu près la même forme que les étoupilles de Bickford; elles coûtent environ $0^f,50$, mais lorsqu'elles seront fabriquées en grand, d'une manière courante, elles pourront être livrées à un prix bien inférieur. On peut d'ailleurs les préparer aisément soi-même en se procurant seulement les fils recouverts de gutta-percha.

On peut évaluer à 900 francs environ le coût du matériel et de l'installation nécessaires pour le tirage électrique dans le creusement d'un puits de 200 mètres de profondeur, mais il serait prématuré de vouloir comparer la dépense par coup de mine de l'ancien et du nouveau procédé; nous pensons que la différence sera faible lorsqu'une pratique suffisante aura familiarisé les mineurs avec tous les perfectionnements que comporte le tirage électrique.

En supposant que celui-ci revienne plus cher, l'excédant de dépense se trouvera amplement compensé par la régularité du travail et la diminution considérable des coups perdus, surtout lorsque les trous de mines se trouveront sous l'eau.

Il est en outre rationnel d'attendre pour l'abatage des résultats avantageux de la simultanéité des coups soit aux fonds des puits, soit aux avancements des galeries à roches dures et à large section. On peut enflammer à la fois quatre coups au moins en embranchant le fil isolé de chaque fusée

sur le conducteur induit et fichant en terre l'extrémité du fil nu. A l'aide du commutateur de M. du Moncel ou de toute autre disposition équivalente, on pourra produire l'explosion d'un plus grand nombre de coups réunis par groupes de quatre, ce qui est suffisant pour tous les cas de la pratique des mines.

L'avantage capital et décisif du tirage électrique est la sécurité absolue qu'il procure au mineur. En y ajoutant une lampe Mueseler pour éclairer la manipulation de la poudre, et un bourroir en bois, on peut dire que toutes les chances périlleuses sont écartées; l'inflammation de la poudre par une flammèche de la lampe ou par le frottement du bourroir, les longs-feux et les explosions prématurées ne sont plus possibles.

La lampe de MM. Dumas et Benoît est venue apporter un nouveau perfectionnement très-important au tirage électrique. M. Dumas a constaté qu'il pouvait avec le courant induit de son appareil provoquer l'explosion simultanée de quatre coups de mines.

Cet appareil très-portatif, comme nous l'avons vu, peut donc être substitué à l'appareil fixe employé jusqu'ici, et permet d'appliquer le système au fonçage des puits les plus profonds, et à plusieurs chantiers d'une même mine, car il rend complétement inutiles les conducteurs fixes dont l'établissement est assez dispendieux, dont la détérioration est rapide à cause des frottements et des chocs, et dont la multiplicité serait trop gênante à l'intérieur des travaux.

Il suffira de poser des conducteurs partant du chantier et aboutissant à l'abri le plus voisin en galerie, ou à une hauteur de 40 mètres s'il s'agit d'un puits en fonçage.

Le courant induit de la bobine sera mis en communication, d'une part avec le conducteur, d'autre part ave la terre, et l'explosion aura lieu en interrompant quelques secondes seulement, si l'on veut, la fluorescence du tube.

Ainsi donc, les propriétés de la lampe électrique que

nous signalons dès aujourd'hui à l'attention des ingénieurs sont les suivantes ;

Facilité de marcher rapidement au secours de travailleurs en danger ;

D'effectuer certains travaux exceptionnels, souvent indispensables, dans des chantiers où les lampes ordinaires font absolument défaut.

De rendre le tirage des coups de mines plus économique en supprimant les longs conducteurs, et d'appliquer ce mode de tirage à tous les chantiers d'une exploitation pour lesquels il serait avantageux d'obtenir la simultanéité des coups.

QUELQUES OBSERVATIONS

RELATIVES A LA FABRICATION DES ANCRES EN FRANCE ET EN RUSSIE.

Par M. TOUTSCHEMSKY, capitaine au corps des ingénieurs des mines de Russie.

Ayant été attaché pendant cinq années à l'usine de Wotkinsk (province de Wiatka), appartenant au gouvernement russe, et où l'on fabrique les ancres, les chaînes et en général le matériel destiné à la flotte militaire, j'eus le désir d'examiner le même travail à l'étranger. Parcourant la France, mon attention fut surtout attirée par l'établissement de Guérigny ainsi que par plusieurs autres, où je pus pénétrer, grâce à la complaisance du personnel du gouvernement français ainsi que des directeurs attachés à ces usines.

Quant aux matières premières, nous nous bornons à en indiquer les différences, réservant leur discussion pour la fin de ce travail. Ainsi à Guérigny on emploie le fer forgé comtois, tandis qu'à Wotkinsk on emploie le fer puddlé, travaillé au bois. De plus, ce fer provient d'une fonte obtenue au bois. Comme résultat pratique, nous constatons que ces ancres ne le cèdent nullement à celles fabriquées à Guérigny.

Le travail proprement dit se subdivise, tant à Guérigny qu'à Wotkinsk, en plusieurs opérations que nous allons passer en revue.

Le *réchauffage* est identique de part et d'autre.

Quant à la *soudure* on emploie à Guérigny le système primitif. Ainsi on y trouve deux feux de forge dans lesquels on chauffe un bras et la crosse, chacun séparément

dans un de ces feux. Quand les deux pièces sont suffisamment chauffées on les soude au simple marteau de forgeron. Cette opération effectuée, on reporte les deux pièces ainsi assemblées dans l'un des deux feux, et dans l'autre on met le second bras. Quand la chaleur est suffisante, on soude avec le même marteau de forgeron.

Une simple exposition du procédé de soudure suivi à Wotkinsk en fera ressortir los nombreux avantages. Mais auparavant nous croyons utile de dire qu'à Wotkinsk on avait adopté jusqu'en 1855 le même procédé que celui suivi à Guérigny. A cette époque, M. Jossa, ingénieur des mines, y substitua le mode de fabrication consistant à réunir les trois parties à la fois sous un marteau-pilon.

L'atelier comprend : 1° deux fours à réchauffer où l'on chauffe les deux bras de l'ancre; 2° un troisième four où l'on réchauffe la crosse.

Deux de ces fours sont chauffés au charbon de bois et le troisième au gaz. On demandera pourquoi cette différence de combustible. Il faudra répondre simplement que les fours étaient tels, et qu'on a voulu les utiliser. Il n'y a donc pas de raison théorique ou pratique pour faire l'un des fours différent de l'autre. Il est bon de faire remarquer que ces fours servent encore en outre à une infinité d'usages. Ainsi, par exemple, on y réchauffe les tôles, cylindres de laminoirs, etc.

Devant chacun de ces fours est une grue dont les bras de levier sont tels qu'ils peuvent concourir vers un centre occupé par un marteau-pilon pesant 3.840 kilogrammes.

Avant d'entrer dans les détails de la fabrication, rappelons que les pièces au nombre de trois, deux bras et la crosse, constituent l'ancre. Comme il s'agit de les réunir, on comprend que chaque pièce, au point de jonction, doit être plus mince et plus étendue que dans le restant du corps. Ceci était utile à noter pour se rendre compte de deux opérations ultérieures.

Les pièces étant supposées assez chaudes, on les porte sur l'enclume du marteau-pilon, au moyen des grues, afin de les tailler à dimensions égales dans chacune d'elles.

Ceci fait, toujours au moyen des grues, on remet les pièces dans leurs fours respectifs où on les chauffe au blanc soudant. Cela fait, on les retire et on les reporte sur l'enclume, dans l'ordre suivant :

1° On dispose le premier bras horizontalement sur l'enclume ;

2° Puis on superpose la crosse ;

3° Enfin le second bras.

Et cela de manière que les parties plus grandes se superposent exactement ainsi qu'on les a taillées.

C'est à ce moment que le contre-maître mesure l'envergure du bras et examine si la superposition est bonne. Aussitôt qu'il s'est assuré de la bonne position des pièces, il donne le signal au mécanicien, et le marteau tombe de toute sa puissance.

Pendant que les pièces ainsi assemblées sont encore chaudes, on retaille le tout au point de jonction, afin de remédier à tous les dérangements qui auraient pu se produire.

Ainsi formée, l'ancre va au feu de forge au charbon de bois pour être achevée. A ce feu se trouvent un contre-maître, un sous-contre-maître et trois manœuvres. Pourtant, pendant la soudure, tous les ouvriers de l'atelier doivent être présents afin de pouvoir porter aide au besoin, car on comprend que c'est là l'opération principale, et que par suite, il faut y apporter tous ses soins.

On peut par cette disposition fabriquer des ancres depuis 480 kilogrammes jusqu'à 5.760 kilogrammes. Si un jour on devait aller au delà de ce poids, on ne rencontrerait pas la moindre difficulté.

Résumons en quelques mots les avantages de ce mode de soudure.

D'abord nous pouvons constater une grande promptitude

d'opération, ce qui nécessairement détermine une meilleure soudure et une moindre perte de chaleur. En second lieu on arrive à une grande netteté d'exécution. Cet avantage est trop évident pour avoir besoin de le faire ressortir. Ensuite la soudure est plus solide puisqu'elle est homogène, car la pénétration moléculaire a lieu à température égale pour toutes les pièces. Enfin on fait une grande économie de temps, résultat qui influe favorablement sur toutes les dépenses.

Parmi les avantages, nous pouvons encore citer celui résultant de l'emploi du fer puddlé au bois et ensuite corroyé. Il est clair que ce fer est essentiellement fibreux, et, par suite, il résiste parfaitement à tout effort de flexion et de traction, seules résistances nécessaires dans l'ancre, car le choc ne peut se produire que fortuitement dans l'usage auquel sont soumises les ancres, et encore quand il se produit est-il peu sensible. Or le fer forgé peut être plus compacte, mais il offre des fibres moins homogènes, donc il ne peut résister autant que le premier (*). C'est donc là un avantage incontestable, car il influe en outre sur le prix de revient.

Passons maintenant à quelques opérations accessoires que nous avons passées sous silence, afin de pouvoir nous en servir comme transition à l'épreuve.

Avant de passer à cette opération que l'on fait subir aux ancres, il est bon de rappeler que le bras de l'ancre est terminé par une partie pointue qu'on désigne sous le nom de patte. En France, cette patte et le bras sont forgés d'une seule pièce, tandis qu'à Wotkinsk ils sont forgés séparément et ensuite soudés. On voit donc que tout dépend d'une bonne soudure de la patte au bras. Or la pratique nous

(*) Cette conclusion nous paraît inexacte. Une fonte de bonne qualité donnera toujours un fer plus tenace au foyer comtois qu'au four de puddlage. L. G.

a enseigné que cette soudure a quelquefois manqué, mais ce défaut s'est montré dans les essais, et alors on rejetait ces ancres.

Ce défaut ne peut être décélé que par l'épreuve qui, par suite, est d'une nécessité incontestable à Wotkinsk. Mais à Guérigny on expédie les ancres directement après la fabrication, dans les ports où on les emploie sans épreuve préalable.

Pour la faire à Wotkinsk, on soulève l'ancre à une hauteur égale à sa longueur et on la laisse tomber, le front en avant, contre un plateau en fonte fixé solidement dans le sol. Puis on la soulève une deuxième fois à une hauteur égale aux deux tiers de sa longueur et on la laisse retomber comme auparavant. Enfin, on répète une troisième fois cette opération, mais d'une hauteur égale au tiers seulement de la longueur de l'ancre. Alors on examine si l'ancre n'a pas subi de détérioration : dans ce cas, elle est déclarée propre à l'usage.

Nous pensons que cette épreuve est irrationnelle, car l'ancre ne subit jamais de choc en mer. D'abord, elle perd dans l'eau une partie de son poids; en second lieu, la chaîne ne transmet le choc qu'en l'absorbant en tout ou en partie. D'un autre côté, si l'épreuve est trop forte, l'ancre souffre d'une tension inutile qui ne fait que la détériorer.

Aussi, en 1860, le gouvernement russe fixa son attention sur ce sujet, et il institua une commission destinée à analyser l'épreuve que jusqu'à ce jour on faisait subir aux ancres. J'eus l'honneur d'être appélé à en faire partie.

Voici en quelques mots les expériences auxquelles nous nous sommes livrés à cette occasion. Nous avions à notre disposition vingt-huit ancres de différents poids. La commission les divisa en deux catégories, chacune d'elles comptant quatorze ancres et devant être soumise à des expériences diverses.

Les quatorze premières ancres furent soumises à l'é-

preuve de la chute, comme nous l'avons exposé plus haut. Ensuite on leur fit subir l'épreuve de l'extension au moyen de la presse hydraulique. Les quatorze dernières ancres subirent les mêmes épreuves, mais dans l'ordre inverse.

On a remarqué que les ancres de la première catégorie, qui supportaient l'épreuve de la chute d'abord, résistaient à celle de la presse hydraulique. Tandis que celles de la seconde catégorie, qui avaient résisté à l'épreuve d'extension d'abord, montraient des défauts quand on les soumettait à la chute. Aussi plusieurs furent-elles rejetées.

La commission conclut que l'épreuve de la chute était plus forte que celle de l'extension. Elle adopta les deux épreuves faites dans l'ordre de la première catégorie. Pour cela elle s'appuyait sur ce que l'ancre en mer supportait un effort semblable à celui produit par la presse hydraulique. Mais elle a pris aussi en considération la possibilité pour l'ancre d'avoir à supporter un choc, et par suite on adopta, comme nous l'avons dit, la double épreuve. La commission formula sa décision finale comme suit : faire subir les deux épreuves, mais ne laisser tomber l'ancre que d'une hauteur égale à la moitié de sa longueur, et cela, une seule fois. Ensuite ne la soumettre à l'extension par la presse hydraurique que jusqu'à un effort déterminé.

Il me semble que l'on ne peut entièrement abandonner l'épreuve à laquelle on soumet les ancres, mais qu'il faut la modifier en la rendant plus simple. Lors de l'épreuve des ancres soudées par le marteau-pilon, jamais elles ne sont brisées par suite d'une mauvaise soudure de la crosse et des bras. Il est vrai que dans quelques cas rares, on a eu à constater des cassures, mais elles se sont produites dans la soudure des bras aux pattes. Notre flotte emploie les ancres fabriquées d'après le système que nous venons d'exposer, et jamais nous n'avons entendu formuler de plaintes par les officiers de marine. Tout parle donc en faveur de ce procédé.

NOTES

POUR SERVIR À L'HISTOIRE DES TRAVAUX D'AMÉLIORATION DES EAUX MINÉRALES FRANÇAISES.

(*Partie continentale.*)

Par M. J. FRANÇOIS, ingénieur en chef des mines.

Époque féodale : 900 *à* 1300. — La renaissance des eaux minérales, en France, apparaît vers la fin du xe siècle : elle fut continuée du XIe au XIIIe siècle. Elle avait le caractère essentiel d'œuvre d'assistance aux classes malheureuses et de fondation pieuse. Les grands feudataires, les corporations religieuses y concoururent. Le mouvement fut marqué surtout au milieu du XIIIe siècle, quand, après la cinquième croisade, saint Louis institua les maladreries, pour combattre les maladies importées de l'Orient.

On sait que plusieurs de ces établissements furent fondés dans la Provence, le Languedoc et pays contigus. Un certain nombre fut établi sur les lieux d'eaux minérales. On rapporte à cette époque la reprise d'Aix (Provence), de Balaruc, d'Arles-les-Bains (Amélie), de Saint-Michel (Vernet), de Rennes, de Saint-Savin (Cauterets), de Luchon, etc.

Alors, on se bornait à dégager les sources et les bassins d'origine gallo-romaine. Quelques-uns de ces bassins furent recouverts de voûtes basses ; le plus grand nombre resta à ciel ouvert. Une gravure du livre *De balneis* montre comment on utilisa, pendant une longue suite de siècles, la grande piscine antique de Plombières, sur laquelle, en 1838, on a établi le bain romain.

Les voies de communication manquaient; aussi, durant cette première époque, l'usage des eaux minérales se maintint entre les limites d'assistance locale. Ce fut la période essentiellement empirique.

Époque des Valois : 1460 à 1650. — Le mouvement de renaissance de nos eaux minérales, longtemps arrêté par les funestes effets de la guerre de cent ans, ne reparaît que vers le milieu du XVe siècle. Les voies postales de Louis XI ne furent point étrangères à cette reprise, à laquelle se rattache la renaissance de Vichy, de Bourbon-Lancy, de Bourbon-l'Archambault, des Eaux-Chaudes, des Eaux-Bonnes, de Bagnères, de Pougues, etc., et qui se poursuivit de François Ier à Louis XIII.

L'usage des eaux minérales, dans cette reprise, ne se bornait plus à l'assistance locale. Ces eaux furent suivies par les maisons souveraines et seigneuriales. Les Valois fréquentèrent Bourbon-Lancy, Vichy, Pougues. Marguerite de Navarre tint sa cour aux Eaux-Chaudes. Les blessés de Marignan furent traités aux Eaux-Bonnes.

A cette deuxième époque, les bains se ressentent encore des dispositions balnéaires usitées dans les thermes antiques. Ce sont les bains communs à voûte basse, avec buée de vapeur, les grandes piscines, les douches à jet libre, les douches de lotion. On avait alors surtout à combattre des affections cutanées, scrofuleuses, rachitiques, résultant de la misère générale du peuple. Ce fut la continuation de l'empirisme.

Troisième époque : de 1660 à 1800. — La troisième époque de la reprise de nos eaux minérales commença au XVIIe siècle, après la minorité de Louis XIV, et continua jusqu'à la fin du XVIIIe siècle. C'est à elle que se rapportent la fondation de Baréges, le premier développement de Bagnères, de Cauterets, des Eaux-Bonnes, d'Encausse, de Bourbonnes, de Plombières, de Luxeuil, etc. Ce développement trouvait sa raison d'être, non-seulement dans les remar-

quables progrès de la médecine hydro-minérale, si nettement accusés, surtout par les travaux des Bordeu (voir le *Journal de Baréges*), mais encore dans l'amélioration progressive des voies de communication.

Aussi, dans cette période, l'usage des eaux minérales s'étendit à toutes les classes. Baréges, Bourbonnes, Encausse et un grand nombre de bains reçurent à la fois le seigneur de la cour, le soldat, l'homme du peuple et l'indigent. Cette diversité dans les classes de malades introduisit dans les dispositions balnéaires de cette époque d'importantes modifications. L'étuve commune, la piscine persistèrent bien dans plusieurs stations; mais la baignoire isolée dans un cabinet prit, dans nos bains, une place de plus en plus accusée.

Dans les deux premières époques, l'aménagement des sources se borna au dégagement des anciens travaux gallo-romains; souvent même on se contenta d'user des eaux dans l'état où elles se produisaient au jour. Mais dans la troisième époque, on commença à se préoccuper de l'isolement et de l'aménagement: on cite les captages partiels de Baréges et du Castéra; les enchambrements des puisards de Bourbonnes, de la Reine à Bagnères, du Puits-Carré et de la Grille à Vichy, de la source de Pougues; la première mise à la roche des sources de Luchon; la reprise des anciens puits de Bourbon-Lançy; la réfection des moines, ou colonnes de prise de Luxeuil, etc.

L'ensemble des travaux accomplis dans la fin de cette période (voir plus loin le tableau chronologique des travaux d'amélioration) accuse une préoccupation plus générale et plus précise à l'endroit de nos thermes. De grands personnages y prirent part. Ainsi, Sully et mesdames de France à Vichy, Choiseul à Bourbonnes, l'intendant d'Étigny à Luchon et au Castera, le gouverneur de Lacoré à Luxeuil, etc., etc.

Un fait remarquable se produisit en 1745 et se continua jusqu'en 1792 : nous voulons parler des missions mixtes qui

furent confiées à des médecins, à des ingénieurs et à des chimistes, pour l'examen des questions se rattachant à l'amélioration des eaux et des bains. La mission la plus intéressante est celle qui fut constituée en 1776, qui continua jusqu'en 1792, et dans laquelle Venel, Bayen et les ingénieurs en chef Moisset et Lomet furent chargés, avec titre d'inspecteurs généraux, d'étudier les améliorations des eaux et des bains dans les provinces de la Guyenne et du Languedoc. C'est à cette mission que l'on doit les notes de Venel, le livre de Bayen sur Luchon, les travaux hydrauliques de Moisset à Baréges, ainsi que le mémoire de Lomet sur les eaux minérales et sur les établissements thermaux des Pyrénées.

Pendant la troisième époque, les voies de communication, facilitant l'accès de nos principaux bains, se multiplièrent. On y rattache l'ouverture des routes spéciales d'Ax, de Luchon, de Baréges, des Eaux-Chaudes, du Castéra, etc., etc.

Quatrième époque : de 1800 *à* 1838. — Dans une quatrième époque, comprise entre 1800 et 1838, l'attention du corps médical, un instant détournée, se reporte de plus en plus vers la médecine hydro-minérale. De nombreuses voies de communication s'ouvrent vers nos stations thermales, et des constructions importantes, dans lesquelles on se préoccupe davantage de l'appropriation régulière, s'élèvent successivement à Baréges (bains Polar, Dassieu, Lachapelle), à Cauterets (Raillère-Espagnols), à Bonnes, à Luchon (bain Richard), à Plombières (bain Romain), à Bains, à Bourbonnes (bain civil), à Uriage, etc., etc. Dans ces constructions le bain commun s'efface de plus en plus et fait place au cabinet de bain. Toutefois la piscine persiste avec amélioration à Plombières, à Baréges, à Luxeuil, et notamment au mont Dore.

La recherche, le captage et l'aménagement des sources ne reçurent que de rares applications durant cette quatrième

époque ; les besoins n'avaient pas encore atteint les limites des ressources thermales dont on disposait alors. D'un autre côté, les études de nos chimistes n'avaient pas encore porté, comme elles l'ont fait depuis, avec tant de talent, sur la nature et sur la conservation des eaux minérales.

Parmi les travaux de cette époque, on compte la création du parc de Vichy, par décret impérial de Cumbingen (1809) et la fondation du grand établissement de cette station, à laquelle Madame, duchesse d'Angoulême, contribua personnellement. On remarque également la construction du bain du mont Dore (Ledru, architecte), auquel les conseils de feu Michel Bertrand ont imprimé un cachet spécial, sous le rapport de l'appropriation thermale.

Cinquième époque : de 1838 *à* 1863. — Nous arrivons à l'époque actuelle, comprise de 1838 à 1863. Elle est de beaucoup la plus féconde en travaux d'amélioration. Elle a pour elle quatre causes principales de développement : 1° la facilité et la rapidité de locomotion, dues aux chemins de fer ; 2° une préoccupation plus générale et de plus en plus attentive du corps médical vers le traitement hydrominéral, préoccupation qui a déjà été la source d'importants progrès qu'il appartient à d'autres que nous d'indiquer ; 3° les recherches si remarquables de la chimie moderne sur la composition, sur le classement et sur la conservation des eaux minérales ; 4° enfin des connaissances plus étendues et mieux arrêtées sur la constitution géologique du sol et sur l'hydrologie souterraine.

L'analyse des travaux de cette époque serait longue. Nous la résumerons par les indications statistisques suivantes :

En 1838, on comptait en France 179 stations thermales exploitées, se décomposant ainsi :

114 stations balnéaires ;

65 stations dans lesquelles l'eau minérale n'est administrée qu'en boisson, ou expédiée après puisement.

Dans ces 179 stations on exploitait, en 1838, 641 sources sur lesquelles on comptait 132 sources captées, ou enchambrées.

A la même date, il y avait 166 établissements de bains dans les 114 stations balnéaires.

En 1863, le nombre des stations exploitées s'élève à 243, se décomposant ainsi :

144 stations balnéaires ;

99 stations dans lesquelles l'eau est prise en boisson ou exportée après puisement ;

Dans les 243 stations, on exploite actuellement 875 sources, sur lesquelles on compte :

641 sources anciennes, dont 333 captées, ou enchambrées ;

234 sources nouvelles, presque toutes captées ;

125 établissements anciens ;

30 établissements agrandis et améliorés ;

37 établissements nouveaux, ou entièrement reconstruits.

Ainsi, de 1838 à 1863, on a capté, ou enchambré, 333 sources anciennes ; on en a découvert et capté 234 nouvelles. On a amélioré, agrandi ou construit 87 établissements de bains. En outre, le nombre des stations pour boisson et expédition s'est élevé de 65 à 99, sous l'influence de la généralisation de l'usage des eaux minérales à domicile.

Nous n'avons pu recueillir avec assez de précision le débit, avant et après captage, de toutes les anciennes sources améliorées, ni celui de toutes les sources nouvelles, pour pouvoir les indiquer ici. Mais nous avons pu établir le résidu exact des ressources balnéaires et des travaux dans nos 12 grandes stations et dans 15 de nos principales stations secondaires, là où l'affluence croissante des malades ayant rendu le débit des sources insuffisant, on a été con-

duit à créer, par voie de recherche souterraine, des ressources nouvelles.

Ces 27 stations comprenaient, en 1838, 167 sources exploitées, débitant journellement 11.771.000 litres. Dans l'intervalle de 1838 à 1863, on a amélioré le régime de 119 des sources anciennes et ajouté 132 sources nouvelles. On a ainsi porté à 299 le nombre actuel des sources. Leur débit total s'élève à 21.182.000 litres, soit, pour les 27 stations, un accroissement de 9.411.000 litres.

En outre il existait, en 1838, dans ces stations, 62 établissements de bains. 23 de ces établissements ont été agrandis, ou améliorés; on en a construit à neuf 21. Ce qui porte à 76 le nombre des bains qui y sont actuellement exploités.

Nous avons le devoir de citer la participation active, prise par feu Cunin-Gridaine et par S. E. M. Rouher, anciens ministres du commerce, au développement de Vichy. Nous devons aussi, avec un sentiment de profonde reconnaissance, porter haut les bienfaits de S. M. Napoléon III aux stations de Plombières, de Baréges, de Saint-Sauveur et de Vichy, et l'impulsion que son auguste influence a imprimée au développement de nos thermes.

Dans la période de 1838 à 1863 les voies d'accès à nos bains (chemins de fer, routes d'aboutissement, voies de reliement des stations) ont pris un développement incomparable. Six stations sont desservies par des embranchements, 26 se trouvent sur les lignes exploitées, ou au plus près. Les lignes en exécution ou concédées toucheront à 37 autres stations. Plusieurs, par suite des concessions récentes, telles que Luchon, Baréges, Cauterets, Saint-Sauveur, Campagne, auront, comme Vichy et Bagnères, leur ligne en quelque sorte spéciale. Ce dernier fait accuse à un haut degré combien les eaux minérales sont entrées dans les préoccupations publiques. Leur exploitation d'ailleurs ne prend-elle pas une

place de plus en plus intéressante parmi les branches de la richesse générale ?

Nous avons parlé plus haut des voies de reliement des stations entre elles. C'est là un moyen de développement et de prospérité que l'on a compris dans les groupes de montagne, surtout dans celui des Pyrénées. Ce moyen ne pouvait échapper à l'Empereur. Aussi, pendant son séjour à Saint-Sauveur (septembre 1859) S. M. décréta, sous le nom de réseau des routes thermales de l'Ouest-Pyrénées, un ensemble de voies de montagne, destinées à relier entre elles les principales stations comprises de Luchon à Biarritz (Océan). On a dit avec raison que cette création était *la dot du souverain aux eaux des Pyrénées.*

L'Empereur, on en a l'espoir, voudra couronner l'œuvre, qui lui est personnelle, par le réseau des routes thermales de l'Est-Pyrénées, de Luchon à la Méditerranée. Déjà de bonnes paroles ont accueilli les vœux faits, à ce sujet, par les conseils généraux de la Haute-Garonne, de l'Aude, de l'Ariége et des Pyrénées-Orientales.

Comme travaux utiles dus à l'empereur, nous citerons la création de la route et du pont Saint-Sauveur, qui sont le point de départ de la nouvelle route de Baréges ; l'ouverture de la route de Luz à Gavarnie, ainsi que la fixation des ouvrages de montagne qui mettent aujourd'hui Baréges à l'abri des avalanches.

Enfin, plusieurs de nos grandes stations se sont imposé des sacrifices pour l'embellissement de leurs abords et pour l'ouverture de promenades et de routes d'excursion. Luchon, pour qui la nature a été si prodigue, est depuis longtemps entré dans cette voie.

Dans cet ordre d'améliorations qui ont, près des eaux, leur côté hygiénique, pour ne pas dire médical, l'Empereur a créé pour Plombières le parc impérial et plusieurs routes d'excursion. S. M. vient, on le sait, de doter Vichy d'un nouveau parc et de belles voies qui, sous le nom de routes

thermales, enveloppent cette station par un splendide corso ; tandis que, de son côté, S. M. l'Impératrice ouvrait la route horizontale de Bonnes aux Eaux-Chaudes et créait le nouveau parc de Bonnes.

Nous terminerons ces indications par le tableau suivant qui résume, par ordre chronologique, pour chaque station, avec les noms des auteurs, les études faites et les travaux d'amélioration exécutés depuis le milieu du XVIIIe siècle jusqu'à ce jour, aux eaux minérales, avec le concours des ingénieurs de l'État.

Dans ce tableau on a eu recours aux abréviations suivantes :

Ing. en ch. des m.	ingénieur en chef des mines.
Ing. ord. des m. .	ingénieur ordinaire des mines.
Ing. en ch. des p.	ingénieur en chef des ponts et chaussées.
Ing. ord. des p. . .	ingénieur ordinaire des ponts et chaussées.
Doct. méd.	docteur-médecin.
Arch. direc.	architecte directeur.
Arch.	architecte.
Ing. civ.	ingénieur civil.
Coll.	collaborateur.
Cons.	conseil de...
Chim.	chimiste.

NOMS des stations.	DÉSIGNATION des études et des travaux.	Dates.	NOMS DES INGÉNIEURS, des architectes et autres, commis et collaborateurs.
Acqui.	Projet général d'amélioration des eaux et des bains.	1857 à 1859	J. François, ing. en ch. des m. Gianonne, arch.
Aix (B.-du-Rhône)	Mise à découvert des sources du bain Sextius.	1860	J. François, ing. en ch. des m. Meissonnier, Id. Noblemaire, ing. ord. des m.
	Projet de captage des sources et d'agrandissement des bains.	1862	J. François, ing. en ch. des m. Huot, arch.
Aix-la-Chapelle.	Captage des sources de la Rose et de l'Empereur.	1808 à 1811	Bélu, ing. en ch. des p. du départ. de la Roër.
	Projet de captage et d'aménagement des sources du Groupe-de-l'Empereur par semelle et massif de béton. . . .	1862	J. François, ing. en ch. des m.
	Conférences pour mise en œuvre du projet.	1863	Von Dechen, Bischoff, Baur et J. François, commissaires.
	Exécution du projet.	1863	Ark, arch.
Aix-les-Bains.	Projet général de captage des sources et d'agrandissement des thermes. . .	1854	J. François, ing. en ch. des m. B. Pellegrini, arch.
	Exécution du projet; recherche et captage par galerie de niveau en roche; réservoirs, conduites, construction des parties postérieure et antérieure.	1855 à 1860	Les mêmes.
	Continuation des travaux; partie antérieure, raccordement, piscines, annexe, hôpital de la Reine-Hortense.	1861 à 1863	Meissonnier, ing. en ch. des m. Lachat, ing ord. des m. B. Pellegrini, arch.
Allevard.	Programme d'aménagement des eaux. .	1859	J. François, ing. en ch. des m.
Amélie-les-Bains.	Notes pour l'appropriation du bain Pujade et pour l'amélioration du bain Hermabessière	1841 à 1844	Le même.
	Amélioration du bain Bessière.	1845	Longon, ing. en ch. des p.
	Projet général des thermes militaires. .	1849 à 1850	Puygarry, cap. du génie. J. François, ing. en ch. des m.
	Construction des thermes militaires, aqueducs, réservoirs, conduites, appareils balnéaires.	1851 à 1855	Bailly et Juge, capitaines du génie. J. François, ing. en ch. des m.
	Réfrigération et conservation des eaux. Captage de l'Escaldadou par galerie de niveau à la roche.	1857 à 1860	Lacroix, command. du génie. Cons. doct. Poggiale. J. François, ing. en ch. des m.
	Projets d'agrandissement des thermes et de conservation des eaux en réservoirs. Gazomètre à air désoxygéné. .	1860 à 1863	Ratheau, capitaine du génie. Cons. doct. Poggiale. J. François, ing. en ch. des m.
	Projet général d'une station hivernale permanente à Amélie.	1862	Conte Granchamp, ing. ch. p. Desbuissons, arch. J. François, ing. en ch. des m.
Audinac.	Construction des bains et aménagement de la source	1844	E. Chambert, arch. J. François, ing. en ch. des m.
Arties.	Projet d'amélioration des eaux et des bains.	1843	J. François, ing. en ch. des m.
Auzon.	Programme d'appropriation des bains. .	1856	Le même.
Avesnes.	Projet d'amélioration des eaux et des bains.	1859	Combes, arch. J. François, ing. en ch. des m.

NOMS des stations.	DÉSIGNATION des études et des travaux.	Dates.	NOMS DES INGÉNIEURS, des architectes et autres, conseils et collaborateurs.
	Exécution du projet.	1860	Combes, arch.
Ax.	Notes sur l'aménagement des eaux. . .	1840	J. François, ing. en ch. des m.
	Notes et conférences sur l'amélioration des bains du Breil et du Tech, sur un projet de reconstruction du bain du Couloubret, par M. Chambert.. . .	1862	Cons. doct. Filhol, chim. E. Chambert, arch. J. François, ing. en ch. des m.
Bagnères-de-Bigorre.	Construction des thermes de la ville. .	1823 à 1828	Cailloux, ing. en ch. des p. Cons. doct., Ganderax.
	Programme général des travaux d'amélioration des sources et des bains de la ville.	1842 à 1844	J. François, ing. en ch. des m.
	Projet d'agrandissement des thermes de la ville	1847	E. Chambert, arch. J. François, ing. en ch. des m.
	Exécution du projet, recherche et captage sur colonnes de prise à la roche des sources du Foulon, de Salies, du Dauphin, de Saint Roch, de Roc-de-Lannes, du Platanne, de la Rampe et des sources romaines. Recherches d'eau douce par galeries de niveau à la roche.	1851 à 1859	J. François, ing. en ch. des m. Lias, arch.
	Installation de la buvette de la Bassère, avec conservation à air désoxygéné. Captage sur colonnes des sources de Théas.	1851 à 1852	Les mêmes.
	Amélioration du bain et captage sur colonne des sources de Salut	1851 à 1852	Les mêmes.
	Construction des grands réservoirs, de la turbine et des pompes des thermes de la ville.	1859 à 1860	Les mêmes.
	Construction des bassins réfrigérants. Enchambrement et conduite de la Reine.	1861 à 1863	Peslin, ing. ord. des m. Lias, arch.
	Projet des grandes douches des cours du nord et du sud.	1863	J. François, ing. en ch. des m. Peslin, ing. ord. des m.
	Étude d'un bain annexe..	1863	Peslin, ing. ord. des m.
Balaruc.	Projet d'amélioration des eaux et des bains.	1862	J. François, ing. en ch. des m.
	Exécution du projet, recherche et découverte de sources nouvelles. Amélioration des bains.	1863	Corvetto, arch. Béral, ing. ord. des m. J. François, ing. en ch. des m.
Barèges.	Ouverture de la route.	1735	Polar, ing. en ch. des p.
	Premiers captages des sources de la Douche et du Fond sur colonnes en bois. Construction du premier bain. .	1735	Chevillard, fontainier, ch. du Roi, à Versailles.
	Captage de la source Gency. Construction du bain du Pavillon.	1775	Gency, fontainier du roi.
	Captage des sources de la Grotte, de l'Entrée et de la Chapelle.	1777	Cons. Venel et Bayen. Moisset, ing. en ch. des p.
	Construction des piscines.	1782	Moisset, ing. en ch. des p.
	Projet général de reconstruction des bains.	1793	Lomet, ing. en ch. des p.

NOMS des stations.	DÉSIGNATION des études et des travaux.	Dates.	NOMS DES INGÉNIEURS, des architectes et autres, savants et collaborateurs.
Barèges (suite)	Reprise du captage de Polar.	1796	Bonquet, ing.
	Agrandissement des bains.	1806	Le même.
	Nouveau captage des sources Polar et Dassieu. Construction du bain Polar.	1817 à 1818	Sirey, ing. en ch. des p.
	Nouveau captage de la Grotte, de la Chapelle et de l'Entrée. Construction des bains alimentés par ces sources.	1819 à 1822	Le même.
	Nouveau captage de Gency. Amélioration successive des bains.	1825 à 1840	Artigala, arch.
	Programme général de l'amélioration des sources et des bains.	1843 à 1847	J. François, ing. en ch. des m.
	Exécution du projet. Recherches par galerie en roche des nouvelles sources de l'est. Aqueduc de vidange.	1852 à 1854	Le même.
	Premier projet de reconstruction des piscines et des bains. Construction des piscines nouvelles. Captage sur colonne des nouvelles sources de l'ouest.	1854 à 1859	Le même.
	Projet définitif de reconstruction des thermes et de captage des sources . .	1859 à 1861	J. Normand, arch. J. François, ing. en ch. des m.
	Exécution du projet Captage sur colonnes, avec semelle de béton, des anciennes sources. Construction des thermes	1861 à 1863	Cons. J. François. Peslin, ing. ord. des m.
Barèges (Barzun).	Drainage souterrain des Froides par galeries de niveau	1853	J. François, ing. en ch. des m.
Barèges (Pontis).	Recherche souterraine par galerie de niveau à la roche	1854	Le même.
Belleville.	Captage de la source par sondage. . . .	1855	Le même.
Bondonneau.	Projet de recherche par sondage	1858	Le même.
Bourbon-Lancy.	Dégagement des anciens puits. Construction de bâches de réserve.	1852 à 1854	Onet, arch. J. François, ing. en ch. des m.
	Projet de reconstruction des bains . . .	1856	Les mêmes.
Bourbon-l'Archambault.	Dégagement de l'ancien puits. Étude sur le régime de la source et sur les gaz à l'émergence.	1860 à 1863	Baudin, ing en ch. des m. De Gouvenain, ing. ord. des m.
	Projet de reconstruction des bains, et du mouvement des eaux.	1861 à 1863	Esmonnot, arch. de Gouvenain, ing. ord. des m.
Bourbonne-les-Bains.	Reconstruction du bain militaire. Enchambrement des eaux.	1783 à 1784	Lebrun, ing. en ch. des p.
	Reconstruction du bain civil. Travaux d'agrandissement.	1814 à 1820	Dubut, arch.
	Améliorations et agrandissements successifs.	1824 à 1838	Chausson, arch.
	Proposition de recherche souterraine par voie de sondage.	août 1855	Mélier, insp. gén. des services sanitaires. J. François, ing. en ch. des m.
	Travaux de recherche par sondages successifs	1857 à 1861	Drouot, ing. en ch. des m. Doct. Cabrol.
	Travaux et projets de sondage, d'aménagement et de reserve d'eau minérale.	1862 à 1863	Drouot, ing. en ch. des m. Debettes, ing. ord. des m. Ferval, capitaine du génie.

NOMS des stations.	DÉSIGNATION des études et des travaux.	Dates.	NOMS DES INGÉNIEURS, des architectes et autres, conseils et collaborateurs.
Suite de Bourbonne.	Projet de reconstruction du bain militaire.	1863	Fervel, capitaine du génie.
	Projet d'amélioration et d'agrandissement du bain civil.	1863	Isabelle, arch. direct. J Normand, arch. Cons. doct. Mélier et J. François.
Bourboule.	Programme de recherche des eaux par galeries d'allongement, et à la roche et par sondage.. Indications successives.	1859 à 1862	J. François, ing. en ch. des m.
Campagne.	Recherche et captage des sources par galeries étagées à la roche. Amélioration des bains.	1859 à 1862	J. François, ing. en ch. des m. G. Debosque, ing. civil.
Capvern.	Captage de la source du Bouridet.	1861	Peslin, ing. ord. des m.
	Amélioration des bains de Capvern.	1862 à 1863	Le même.
Castéra-Verduzan.	Construction des bains..	1820	Poirée, ing. ord. des p.
	Projet d'amélioration du mouvement des eaux et des bains.	1850 à 1853	J. François, ing. en ch. des m. Chambert, arch.
	Exécution du projet. Douches nouvelles. Réservoirs. Chauffage.	1853 à 1854	J. François, ing. en ch. des m. Gentil, arch.
Cauterets.	Captage des sources et construction du bain de la Raillire.	1821 à 1824	Sirey, ing. en ch. des p.
	Construction du bain des Espagnols..	1838 à 1843	Artigula, arch.
	Programme général des travaux d'amélioration..	1843 à 1844	J. François, ing. en ch. des m.
	Travaux de recherche de la source de Pauze-Vieux par galeries d'allongement de la roche.	1845 à 1846	Le même.
	Premières recherches des sources de César et des Espagnols par galeries d'allongement de la roche. Reconstruction du bain de Pauze-Vieux..	1851 à 1853	Le même.
	Captage à la roche des sources de la Raillère. Amélioration du bain des Espagnols. Mise à découvert des sources des OEufs.	1854 à 1856	Le même.
	Reprise générale du bain, de la buvette et des réservoirs de la Raillère..	1856 à 1857	Le même.
	Reprise et achèvement des recherches des sources de César et des Espagnols par galeries en roche. Captage de ces sources. Nouvelle descente des eaux..	»	Le même.
	Captage à la roche des sources du Mahourat, des OEufs et du Bois.	1857 à 1859	Le même.
	Construction des salles d'inhalation et de pulvérisation des Espagnols. Appropriation des Buvettes supérieures et inférieures de César, Pauze, Espagnols. Amélioration des grandes douches des Espagnols.	1859 à 1860	NOTA. M. Balagna, directeur des travaux depuis 1853, a fait preuve d'un zèle très-intelligent dans cette tâche si diverse. Le même.

NOMS des stations.	DÉSIGNATION des études et des travaux.	Dates.	NOMS DES INGÉNIEURS, des architectes et autres, conseils et collaborateurs.
Suite de Cauterets.	Conduite à Cauterets des eaux des Œufs et du Mahourat.	1861 à 1863	Peslin, ing. ord. des m.
Chaudes-Aigues.	Programme d'un projet de thermes nouveaux.	1859	J. François, ing. en ch. des m.
	Projet et mise en œuvre en cours d'exécution.	1861 à 1863	Marabal, arch. Cons. Chevalier, chim.
Condillac.	Projet d'aménagement des sources. . .	1859	J. François, ing. en ch. des m.
Contrexéville.	Enchambrement des sources du pavillon, des bains et du quai.	1860 à 1861	Jutier, ing. ord. des m. Albert, garde-mines.
	Travaux d'enceinte de la source du Pavillon. Appropriation de la Buvette. .	1861 à 1862	J. François, ing. en ch. des m. Jutier, ing. ord. des m. Albert, garde-mines.
	Reconnaissance de l'état des lieux, de la nature et du régime des sources de Contrexéville.	1862 à 1863	J. François, ing. en ch. des m. Jutier, ing. ord. des m. J. Bouis, chim.
Eaux-Bonnes.	Construction des bains.	1829	Latapie, arch.
	Programme général des travaux d'amélioration des eaux et des bains. . . .	1851 à 1853	Cons. Dr Darral. J. François, ing. en ch. des m.
	Projet des travaux comprenant : captage de l'ancienne source ; amélioration de la Buvette et des bains ; réservoirs. Captage de la source du Bois et de celles d'Ortech. Bain d'Ortech. Annexe.	1854 à 1855	Lévy, arch. J. François, ing. en ch. des m.
	Mise en œuvre du projet. Captage sur colonne en roche de l'ancienne source. Amélioration de la Buvette. Réservoirs. Dépression de niveau et enchambrement de la source du Bois. Amélioration des bains. Déblai des sources d'Ortech.		
	Salles annexes pour bains de pieds et pulvérisation. Appropriation de la pulvérisation.	1856 à 1859	Les mêmes.
	Recherches des sources d'Ortech. Amélioration des bains et de la pulvérisation.	1861 à 1863	Jacquot, ing. en ch. des m. Martin, ing. ord. des m. Lévy, arch.
Eaux-Chaudes.	Programme des travaux d'amélioration des eaux.	1842 à 1844	J. François, ing. en ch. des m. Cons. Dr Bayle.
	Captage des sources du Clot, par mise à la roche. Enchambrement de l'Esquirette. Aménagement de celle du Rey par dépression de niveau. Appropriation des nouveaux thermes. . . .	1845 à 1851	Latapie, arch. J. François, ing. en ch. des m.
	Captage de la source Baudot. Appropriation de la Buvette.	1855	Boura, ing. ord. des p.
Encausse.	Programme des travaux des eaux et des bains.	1854 à 1855	J. François, ing. en ch. des m. Loupot, arch.
	Projet de reconstruction des bains. . .	1862	E. Chambert, arch.
Echaillon.	Projet de captage de la source.	1860	J. François, ing. en ch. des m.
Enghien.	Etudes successives du régime des eaux du bassin d'Enghien.	1852 à 1857	Le même.
	Programme de la recherche des eaux et de la reconstruction des bains. . . .	1860	Le même.

NOMS des stations.	DÉSIGNATION des études et des travaux.	Dates.	NOMS DES INGÉNIEURS, des architectes et autres, conseils et collaborateurs.
Enghien. (suite).	Salle de pulvérisation.	1860	Le même.
	Travaux de la Pêcherie. Enchambrement de la nouvelle source du lac. . .	1861 à 1862	J. François, ing. en ch. des m. Sabatier, ing. civ.
	Captage des sources nouvelles du jardin des Roses et du jardin Levy par sondage et enchambrement. Conduites par siphons	1862 à 1863	J. François, ing. en ch. des m. Dru, ing. civil.
	Reconstruction des bains, ...	1862 à 1863	Bouillon et Muller. Cons. J. François.
Évaux.	Programme des travaux d'amélioration des eaux et des bains.	1855	J. François, ing. en ch. des m.
Gazost.	Programme de la recherche des eaux. .	1852	Le même.
Gréoulx.	Projet des travaux d'amélioration des thermes Construction de la piscine.	1857 à 1858	Le même.
Hontalade,	Captage en roche de la source. Construction des bains..	1858 à 1859	J. François, ing. en ch. des m. Guillemin, arch.
Labassère.	Projet d'enchambrement de la source. .	1850	J François, ing. en ch. des m.
Lamalou.	Mise à découvert des sources du ravin de la fontaine. Construction du premier bain de Lamalou-le-Haut.	1845 à 1849	Le même. Augoulet, arch.
	Captage et aménagement par pression hydrostatique des sources de la Fontaine	1849	J. François, ing. en ch. des m.
	Captage par voie de sondage en roche de la grande source.	1856	Le même.
	Captage par sondage en roche de la source Bourges (Lamalou du Centre).	1857	Le même.
	Projet et construction du bain actuel de Lamalou-le-Haut..	1858 à 1859	Le même.
	Recherche des nouvelles sources de l'Usclade (Lamalou-l'Ancien) par galeries de niveau en roche et en recoupement de filons aquifères.	1861 à 1862	J. François, ing. en ch. des m. Étienne, conduct. des p.
	Améliorations des bains de Lamalou-l'Ancien. Aménagement de l'ancienne source par dépression de niveau. Projet et construction des piscines nouvelles.	1862 à 1863	Les mêmes. Béral, ing. ord. des m.
Lamotte.	Projet de captage des sources de la Dame et du Drac..	1852	J. François, ing. en ch. des m.
Lavey.	Programme des travaux. Construction des réservoirs et des nouvelles douches. Étude du régime de la source. Captage à la roche. Aménagement par pression hydrostatique.	1861 à 1862	Jaquerot, arch. F. Collomb, ing. coll. J. François, ing. en ch. des m.
	Programme pour la reconstruction des thermes	1862	Les mêmes.
Lez.	Recherches des sources par galeries en roche.	1852	J. François, ing. en ch. des m.
Luchon.	Construction des bains d'Étigny.	1765 à 1782	»
	Projet du bain de Lachapelle. Construction inachevée.	1783 à 1787	Bourgeois, ing. en ch. des p. Cons. Venel et Bayen.

NOMS des stations.	DÉSIGNATION des études et des travaux.	Dates.	NOMS DES INGÉNIEURS, des architectes et autres conseils et collaborateurs.
Suite de Luchon.	Projet et construction du grand bain et du bain Richard.	1805 à 1815	Laupies, ing. en ch. des p.
	Recherche des sources Soulerat (puits dans les atterrissements). Construction du bain Soulerat.	1832 à 1833	»
	Premières recherches souterraines par galeries de niveau. Tentative de mise en roche. Travaux irrégulièrement ébauchés.	1836 à 1837	Aréma, maire. Cons. A. Fontan et Néré Boubée, géologue.
	Projet et exécution de la recherche et du captage à la roche, par galeries d'allongement et en roche et par pression hydrostatique (Sources anciennes.).	1837 à 1842	J. François, ing. en ch. des m.
	Etudes du projet de reconstruction des bains et de recherche des eaux du Sud.	1845 à 1847	E. Chambert, arch. J. François, ing. en ch. des m.
	Construction des thermes actuels. Travaux de recherche et d'aménagement des nouvelles sources du Sud, par galeries d'allongement et par ouvrages de recoupement en roche.	1848 à 1854	Les mêmes. Charles Tron, maire. Cons. doct. Filhol, chim.
	Travaux d'achèvement des thermes et des recherches du Sud. Salles des douches pharyngiennes et de humage. Conservation des eaux.	1854 à 1862	Les mêmes. Conseils docteurs Filhol et Lambron.
Luxeuil.	Construction des bains et réfection des colonnes de prise.	1768 à 1784	Querret et Lingée, ing. en ch. des p. Bouchet, arch.
	Améliorations successives des bains.. .	1820 à 1840	Vaucheret, arch. Weil, arch.
	Premier projet d'amélioration général. Bain ferrugineux. Première recherche des eaux ferrugineuses par tranchées.	1841 à 1843 1851	Gourlier, arch. direct. Monnier, arch.
	Programme des travaux d'amélioration.	1855	J. François, ing. en ch. des m.
	Reprise des recherches des eaux ferrugineuses..	1855	Monnier, arch.
	Continuation des recherches. Amélioration du projet et construction du bain ferrugineux. Construction du puits romain. Découverte des sources du Temple.	1855 à 1856	J. François, ing. en ch. des m. Grandmougin, arch.
	Projet d'extension du bain ferrugineux. Projet et construction du bain impérial. Programme revisé des travaux..	1857 à 1858	Les mêmes. Docteurs Méllier et Chapelain.
	Réservoir de la source d'Hygie. Nouvelles fouilles sur les sources du Temple. Projet de drainage et recette de ces sources. Travaux provisoires.. . .	1859 à 1862	Drouot, ing. en ch. des m. Bossey, ing. ord. des m. Descotes, ing. ord. des m. Liénard, ing. ord. des m.
	Travaux successifs d'amélioration des bains des Capucins, du grand bain, du bain gradué, de celui des Bénédictins. Reconstruction du bain neuf (étuves, grandes douches) et du bain des Fleurs. Aménagement des galeries et des abords.	1857 à 1862	J. François, ing. en ch. des m. Grandmougin, arch.

NOMS des stations.	DÉSIGNATION des études et des travaux.	Dates.	NOMS DES INGÉNIEURS, des architectes et autres, conseils et collaborateurs.
Marlioz.	Aménagement des eaux, salle d'inhalation provisoire	1857 à 1859	J. François, ing. en ch. des m.
	Projet et construction de l'établissement actuel (inhalation, douches pharyngiennes)	1861 à 1862	J. François, ing. en ch. des m. B. Pellegrini, archit.
Martigny-les-Lamarche.	Mise à découvert et encbambrement des sources	1861 à 1862	Lebleu, ing. ord. des m. Albert, garde-mines.
Mont Dore.	Projet et construction des thermes	1817 à 1831	Cons. doct. Michel Bertrand. Ledru, père, arch.
	Projet et construction de l'annexe pour vapeur et inhalation	1846 à 1850	Agis-Ledru, arch.
	Ventilation des salles de vapeur et d'inhalation	1851 à 1852	Fournel, ing. en ch. des m. Tournaire, ing. ord. des m.
	Améliorations et agrandissements successifs des thermes. Salles de pulvérisation	1860 à 1863	Agis-Ledru, arch.
Montmirail-Vacquiéras.	Projet d'aménagement de la source magnésienne, dite Eau verte	1859	J. François, ing. en ch. des m.
Néris.	Projet de construction des bains	1819	Lejeune, ing. en ch. des p.
	Mise à exécution	1820 à 1337	Nollet, arch. Agnéty, arch.
	Révision et extension du projet. Occupation de la cour pour étuves et piscines	1840	Agnéty et Esmonnot, arch. Cons. doct. Montluc.
	Construction et appropriation des piscines et des étuves. Bain de l'aile droite	1844 à 1858	Esmonnot, arch. J. François, ing. en ch. des m.
	Projet du mouvement général des eaux. Réservoirs, bassins réfrigérents	1848	J. François, ing. en ch. des m.
	Construction du bain des indigents	1859	Esmonnot, arch.
Olette.	Projet d'aménagement des eaux et de construction des bains	1848 à 1850	J. François, ing. en ch. des m. Cons. J. Bouis, chim.
	Exécution du projet	1855	Bouis.
Plombières.	Construction des anciens thermes. Bain tempéré, bain impérial	1770 à 1783	Delille, ing.
	Construction du bain Romain	1838	Grillot, père, arch.
	Construction du bain des Dames	1845	Le même.
	Améliorations successives des différents bains. Agrandissement du bain impérial. Réservoirs, piscines du bain tempéré	1820 à 1853	Le même.
	Établissement de la turbine et des pompes du bain impérial	1851	Ricot, ing. ord. des p.
	Proposition de recherche et d'aménagement souterrain des eaux, d'amélioration et d'agrandissement des bains.	août 1856	Doct. Mélier. J. François, ing. en ch. des m.
	Conférences à Plombières sur les travaux d'amélioration des eaux et des bains, par ordre de M. le ministre des travaux publics	23 au 27 déc. 1856	Isabelle, arch. direct. J. François, ing. en ch. des m. Daubrée, ing. en ch. des m. Jutier, ing. ord. des m.
	Projet et exécution des travaux de recherche et d'aménagement des eaux.		

NOMS des stations.	DÉSIGNATION des études et des travaux.	Dates.	NOMS DES INGÉNIEURS, des architectes et autres, conseils et collaborateurs.
Suite de Plombières.	Captage des sources supérieures du thalweg. Enchambrement des sources du thalweg, par découverte en tranchées et aqueducs. Recherche et captage des sources savonneuses par galerie de niveau à la roche. Captage du Crucifix, des sources Muller et Simon. Aqueducs et conduites. Bâches de recette, moteur à vapeur et pompes pour mouvement des eaux aux réservoirs généraux.	1857 à 1861	Combes, inspecteur général des mines. Daubrée, ing. en ch. des m. Jutier, ing. ord. des m.
	Projet du bain et des hôtels Napoléon. Étude architecturale. Appropriation thermale et mouvement des eaux. .	1857 à 1858	Isabelle, arch. direct. J. Normand, arch. J. François, ing. en ch. des m.
	Exécution du projet du bain et des hôtels.	1858 à 1862	Perron, architecte de la compagnie fermière.
	Surveillance des travaux et détails d'exécution.	1858 à 1862	Cons. Isabelle, arch. direct. L. Grillot et Normand.
	Projet et exécution des réservoirs généraux. Mouvement des eaux des réservoirs aux lieux d'emploi. Aqueduc de descente. Conduites et appareils balnéaires.	1860 à 1862	J. François, ing. en ch. des m. Perron, arch.
	Mise à découvert de la piscine romaine. Construction des nouvelles étuves romaines.	1861 à 1862	J. François, ing. en ch. des m. Jutier, ing. ord. des m. Perron, arch.
Pontgibaud.	Captage des sources de Châteaufort et d'Anchal.	1861	J. François, ing. en ch. des m.
Pougues.	Appropriation des nouvelles douches. .	1862	Le même. Gay, arch.
Rieumajou.	Captages des sources à la roche.	1845	J. François, ing. en ch. des m.
Royat.	Construction des bains.	1852 à 1855	A. Ledru, arch.
	Captage par sondage et enchambrement de la grande source.	1855	J. François, ing. en ch. des m. A. Ledru, arch.
Sail-les-Bains.	Captage des sources à la roche. Construction des bains.	1855 à 1857	Vigouroux, ing. ord. des p. Batillat, arch.
Saint-Alban.	Captage des sources à la roche.	1858	Viroley, ing. civ.
Saint-Christau.	Projet d'aménagement des eaux et de construction des bains.	1850 à 1851	J. François, ing. en ch. des m. Latapie, arch.
Saint-Honoré.	Projet général de captage et d'aménagement des eaux et de construction des bains. Exécution des travaux.	1852 à 1857	J. François, ing. en ch. des m. Meyer, ing. civ. Parthiot, arch.
Sainte-Marie.	Projet d'aménagement des eaux et d'appropriation thermale.	1852	J. François, ing. en ch. des m. Loupot, arch.
Saint-Sauveur.	Programme des travaux d'amélioration.	1852	J. François, ing. en ch. des m.
	Projet d'agrandissement des bains. Réservoirs. Mouvement des eaux.	1859 à 1860	Le même. J. Normand, arch.
	Exécution des travaux.	1860 à 1861	J. François, ing. en ch. des m. Peslin, ing. ord. des m.
	Exécution des travaux.	1862	Peslin, ing. ord. des m.
Siradan.	Projet de captage de la source.	1852	J. François, ing. en ch. des m.
	Exécution.	1860	E. Chambert, arch.

NOMS des stations.	DÉSIGNATION des études et des travaux.	Dates.	NOMS DES INGÉNIEURS, des architectes et autres, conseils et collaborateurs.
Soultzmatt.	Indications pour l'aménagement des eaux.	1860 à 1861	J. François, ing. en ch. des m. Jutier, Lebleu, ing. ord. des m.
Spa.	Projet de recherche par sondage des eaux du Vieux-Nivezée.	1862	J. François, ing. en ch. des m.
Uriage.	Construction des bains.	1820	»
	Agrandissement et améliorations successives.	1830 à 1862	Comte de Saint-Ferriol.
	Première galerie souterraine.	1823	Gueymard, ing. en ch. des m.
	Deuxième galerie.	1844	Le même.
	Troisième galerie.	1846	Le même.
	Améliorations successives. Recherche du régime de la source.	1857 à 1863	Le même. J. François, ing. en ch. des m.
Ussat.	Programme de la recherche et de l'aménagement des eaux.	1838	Le même.
	Exécution de la première série des travaux souterrains. Application de la pression hydrostatique.	1838 à 1840	Le même. Cons. doct., Vergé.
	Projet de reconstruction des bains.	1852 à 1853	J. François, ing. en ch. des m. C. Durrieu, arch.
	Exécution des travaux. Aménagement définitif des eaux par pression hydrostatique.	1854 à 1859	Les mêmes. Cons. doct., Vergé.
	Améliorations successives.	»	Les mêmes.
Vichy.	Construction des anciens bains sous les Valois et Henri IV.	1520 à 1570	»
	Construction du bain du roi. Enchambrement des sources du Puits-Carré et de la grille.	1783 à 1786	»
	Construction du grand établissement.	1816 à 1829	Rose-Beauvais, arch.
	Forage des puits Brosson, Lardy, de Mesdames, de Vaisse, d'Hauterive.	1842 à 1845	Degousée, ing. civ.
	Enchambrement du puits Carré par semelle de béton à redans inférieurs. Premier captage de Lucas par approfondissement à la roche.	1844 à 1847	J. François, ing. en ch. des m. Batillat, arch.
	Améliorations des locaux balnéaires et des conduites du grand établissement et de l'hôpital. Reservoir des Capucins.	1845 à 1848	J. François, ing. en ch. des m. Isabelle, arch. direct. Batillat, arch.
	Construction des salons du grand établissement.	1845 à 1848	Isabelle, arch. direct.
	Programme général des travaux d'amélioration et de construction des bains, de l'aménagement et du mouvement des eaux. Appropriation thermale.	1851 à 1853	Docteur Mélier. Isabelle, arch. J. François, ing. en ch. des m.
	Captage de Lucas par mise à la roche en profondeur, des Célestins anciens (mise en roche). Aménagement du puits Carré et de la grille par dépression de niveau.	1853 à 1855	J. François, ing. en ch. des m. G. Maurice, ing. civil.
	Aménagement et conduite des sources de Mesdames et du parc.	1855 à 1856	J. François, ing. en ch. des m. Rudler, ing. civil.

NOMS des stations.	DÉSIGNATION des études et des travaux.	Dates.	NOMS DES INGÉNIEURS, des architectes et autres, consuls et collaborateurs.
Vichy (suite),	Exécution des travaux par la compagnie fermière. Amélioration du grand établissement. Usine des Capucins. Réservoirs. Bâches de réserve; moteur et pompes. Buanderie et séchoirs. Extension des conduites. Nouvel établissement.	1856	A. Calou, arch. Rudler, ing. civil. Surveillance des ingénieurs et architectes de l'État.
	Projet de captage de la source des Célestins (nouveaux).	1860	J. François, ing. en ch. des m.
	Exécution du projet. Aménagement des abords et de la Buvette des nouveaux Célestins.	1861	Pigeon, ing. en ch. des m.
	Trinkall des nouveaux Célestins.	1861	Isabelle, arch. direct. Lefaure, arch.

L'ensemble de ce tableau montre l'importance toujours croissante du rôle de l'ingénieur dans les travaux d'amélioration des eaux minérales. Dans les premières époques, depuis la renaissance de nos eaux, l'ingénieur se témoigne surtout comme constructeur. Le partage entre l'ingénieur et l'architecte, dont l'action combinée est si manifeste dans les ouvrages de la période gallo-romaine, alors que, déjà, le captage, l'aménagement et les constructions thermales avaient des règles définies, ne se reproduit qu'au XVIIIe siècle. C'est alors également que l'on voit les indications du médecin et du chimiste intervenir dans les faits d'amélioration de nos thermes.

Depuis le commencement du XVIIIe siècle, les fontainiers puis les ingénieurs des ponts et chaussées prirent part aux travaux des eaux et des bains. De 1735 à 1825, on voit successivement concourir les fontainiers Chevillard et Gency, les ingénieurs Polar, Moisset, Bouquet, Sirey à Barèges; Lebrun à Bourbonnes, Cailloux à Bagnères; Querret et Lingée à Luxeuil; Lejeune à Néris; Delille et Ricot à Plombières; Gueymard à Uriage, etc., etc. On doit toutefois faire observer que, sauf les captages de Moisset et Sirey à Baréges et à Cauterets, et la première recherche de Guey-

mard à Uriage, le concours des ingénieurs a été à peu près limité à des travaux de construction et d'appropriation balnéaires.

Ce n'est qu'en 1837 que l'ingénieur des mines engage pratiquement les questions de la recherche et de l'aménagement des eaux minérales. Le 8 septembre 1838, étant à Luchon, feu Legrand, directeur général des ponts et chaussées et des mines, répondant à la demande de d'Aubuisson, écrivait à un ingénieur des mines :

« ...... Non-seulement je vous autorise à exécuter les « travaux des sources de Luchon ; mais je vous y invite ex- « pressément. Si vous réussissez, faites en sorte d'étendre « et de multiplier de semblables travaux. Les eaux miné- « rales sont une richesse du sol. L'amélioration de leur ex- « ploitation revient au corps des mines. Préparez l'intro- « duction des eaux minérales, en ce qui se rapporte aux « travaux d'exploitation et de conservation, dans les attri- « butions de ce corps. »

Dès 1843 (mars), les travaux de recherche et d'aménagement avaient pris assez d'extension pour que feu Cunin-Gridaine, ministre du commerce, dans le ressort duquel étaient les eaux minérales, et Legrand s'entendissent pour la création, au Commerce, d'un service spécial de travaux d'amélioration qui fut confié à un ingénieur des mines (voir la circulaire n° 23 du 15 octobre 1855 qui rappelle les faits).

Ce service fonctionna de 1843 à 1849. Les premiers travaux de Vichy s'ensuivirent, ainsi que ceux de Néris, et des études et projets d'amélioration de nos principales stations. Il fut interrompu de 1849 à 1853 pour motifs d'économie budgétaire. Dans cet intervalle, plusieurs grands travaux s'accomplirent en exécution de projets étudiés et du fait de l'ingénieur spécial mis en disponibilité.

Alors, la question d'introduction de son service dans le corps des mines fut itérativement soulevée ; elle ne reçut

aucune solution. On s'arrêta devant une appréciation d'attributions. Les esprits et les choses n'étaient peut-être pas suffisamment préparés. Les causes qui ont amené un si grand développement dans l'exploitation des eaux minérales n'avaient pas encore assez agi, ou bien n'étaient pas encore appréciées dans leur portée ultérieure.

Dans l'intervalle de 1849 à 1857, on reconstruisit les thermes de Luchon, d'Ussat, de Pauze-Vieux (Cauterets), etc., on arrêta les projets de la station militaire d'Amélie-les-Bains, ainsi que les programmes d'amélioration de plusieurs stations. C'est alors qu'eurent lieu les recherches souterraines de Luchon (sources nouvelles du sud), de Barèges (sources de l'est), de Cauterets (source de Pauze-Vieux), des Eaux-Chaudes, etc.

En janvier 1853, une décision du ministre de l'Intérieur, qui, pendant quelque temps, eut le Commerce dans ses attributions, rétablit le service des eaux minérales et le confia au même ingénieur des mines. Ce dernier fut attaché à la direction générale du Commerce jusqu'au 19 septembre 1855, date à laquelle une décision du ministre des travaux publics incorpora le service des eaux minérales dans les attributions ordinaires du corps des mines.

Cette mesure, préparée par les travaux accomplis, ne devait rester plus longtemps suspendue pour cause de répartition d'attributions entre ministères, depuis que le décret du 23 juin 1853 avait réuni aux Travaux Publics l'administration de l'Agriculture et du Commerce. Elle est due à l'initiative de monsieur le secrétaire général de Boureuille qui, depuis quelques années, suivait les progrès des travaux des eaux minérales dont il comprenait l'importance. Ainsi, à dix-sept années de distance, se réalisait la pensée formulée, en 1838, à Luchon par feu Legrand.

La circulaire n° 23 du 15 octobre 1855, interprétative de la décision du 19 septembre 1854, attribue au corps des mines non-seulement la surveillance administrative et la

conservation des sources ; mais encore elle admet leur intervention dans la présentation de projets et dans la direction de travaux de recherches et d'aménagement. En outre, prenant pour point de départ l'immixtion pratique de l'ingénieur spécial, chargé du service des eaux minérales, dans l'exécution de travaux hydrauliques, d'appropriation balnéaire et dans les constructions thermales, elle admet, pour ces travaux et constructions, l'action des ingénieurs des mines. Elle se termine par le paragraphe suivant :

« En résumé, par les efforts combinés des médecins « inspecteurs et des ingénieurs des mines, nous parviendrons, j'en ai l'espoir, à améliorer le service si important « des eaux minérales et nous contribuerons à lui donner le « développement qu'il comporte et que réclament si impé« rieusement la santé publique et la prospérité de plusieurs « de nos départements. »

La décision ministérielle du 19 septembre attachait en outre à l'administration centrale un ingénieur en chef des mines pour l'examen des questions techniques et hydrologiques, en matières d'eaux minérales, et pour visites des sources et des établissements.

Les mesures administratives qui précèdent ne sont pas les seules qui aient été prises par l'administration centrale. Déjà, en 1853, l'inspection générale des services sanitaires, confiée à un savant médecin (M. le docteur Mêlier), avait dans ses attributions la surveillance du service médical des eaux minérales. Plus tard un architecte distingué (M. Isabelle) était pourvu de l'inspection des établissements sanitaires et des thermes de l'État.

Enfin, depuis 1854, une commission, dite des Eaux minérales, présidée par M. le secrétaire général des travaux publics et qui a pour membres :

Le directeur du commerce intérieur ;

Le chef du bureau sanitaire ;

Un administrateur des domaines ;

L'inspecteur général des services sanitaires ;

L'architecte inspecteur des établissements sanitaires et des thermes de l'État ;

L'ingénieur en chef des mines, chargé du service des eaux minérales ;

Est saisie des questions administratives et contentieuses qui se rattachent aux eaux minérales.

La généralisation des travaux d'amélioration, l'importance croissante de l'exploitation de nos eaux, avaient rendu nécessaires de nouvelles mesures législatives et réglementaires, en vue de la conservation, de l'aménagement et du service médical. Les travaux accomplis, par leur nombre et leur diversité, avaient fourni, en matière de gisement, de régime souterrain, et d'aménagement, des données et des règles qui permirent d'élaborer et de fixer une *législation* et une réglementation appropriées aux besoins actuels.

De là la loi du 14 juillet 1856 sur la conservation et l'aménagement des eaux minérales, ainsi que les décrets impériaux du 8 septembre 1854 et du 28 janvier 1860, faisant règlements d'administration publique, pour les questions afférant à la conservation et au service général des eaux minérales.

Le mouvement imprimé à l'amélioration de l'exploitation de nos eaux et de nos bains se poursuit en se généralisant chaque jour davantage. Sur un grand nombre de points, les ingénieurs des mines étudient des projets, exécutent des travaux et tournent leur action administrative au profit de cette exploitation. Les règles de la recherche, de l'aménagement et de la conservation des sources sont de plus en plus définies, pendant que l'appropriation balnéaire et l'architecture thermale se formulent, gagnent et s'élargissent par le concours sagement combiné du médecin, du chimiste, de l'ingénieur et de l'architecte.

Les progrès ont été rapides dans les vingt dernières années, parce que les besoins à satisfaire étaient grands. Ils

l'ont été assez pour que quelques esprits s'en soient émus. Se préoccupant moins des résultats que d'idées préconçues, non assez réfléchies, on a dit qu'il ne ne fallait pas toucher aux sources minérales. Autant dire qu'il fallait laisser ces sources à leurs causes incessantes de dégradation ; qu'il ne fallait pas tenter de s'enrichir de sources nouvelles, et que nos ressources balnéaires étaient fatalement limitées. Heureusement les faits ont parlé. La pratique médicale est de plus en plus pourvue et recueille les fruits des efforts accomplis. Les résultats sont considérables ; ils se traduisent par un accroissement important dans l'exploitation de nos eaux et dans une branche intéressante de la richesse publique.

SECONDE NOTICE

SUR LES PUDDLEURS MÉCANIQUES EMPLOYÉS A LA FORGE DU CLOSMORTIER (*).

Par M. LEMUT, ancien élève breveté de l'École des mines.

Depuis deux ans que nous avons établi nos premiers puddleurs mécaniques dans les forges du Closmortier, ces appareils ont été l'objet d'expérimentations nombreuses et suivies.

Successivement perfectionnés et simplifiés, ils remplissent aujourd'hui leur but d'une façon si satisfaisante que, fonctionnant déjà dans sept de nos fours à puddler, nous n'hésitons pas à les appliquer sans nouvelle modification à tous les autres fours.

Outre les machines à puddler dont nous avons fait l'application dans nos usines, nous avons construit d'autres appareils qui se prêtent mieux à la disposition de certains fours et conviennent notamment dans le cas où ceux-ci sont surmontés d'une chaudière à vapeur.

Notre premier puddleur mécanique fut appliqué à un four à une porte, et il fonctionne encore actuellement à peu près tel qu'il est monté depuis deux ans. Nous en avons donné dans les *Annales des mines*, tome II, 1862, une description détaillée, à laquelle nous renvoyons le lecteur, et nous nous contentons d'indiquer seulement ici (Pl. XI, *fig.* 7, 8 et 9) l'agencement général du mécanisme qui a pour effet d'im-

(*) Une première notice sur le puddleur mécanique a été publiée dans les *Annales des mines*, tome II, 1862.

primer à l'outil des mouvements qui lui font parcourir toutes les parties de la sole. C'est ce que montre le diagramme (*fig.* 3) représentant l'ensemble des lignes décrites par le crochet sur la surface de la sole.

Nous avons construit un autre appareil engendrant, comme le précédent, le mouvement complexe en vertu duquel l'outil atteint tous les points de la sole et susceptible d'être établi à une distance quelconque du four. Ce nouveau puddleur mécanique est simple, solide et occupe peu d'espace. Il sera généralement commode de le placer, soit en l'air suspendu à la charpente, soit au contraire caché au-dessous du sol. Nous l'avons figuré dans ces deux positions (Pl. XI, *fig.* 1, 2, 3 et 4, 5, 6).

Une poulie D (*fig.* 1, 2, 3), mue par une courroie à tendeur E, met en mouvement l'arbre horizontal AA avec sa manivelle J, et, au moyen de la vis sans fin I, le petit arbre vertical B avec sa manivelle L qui reçoit un mouvement vingt à trente fois plus lent que celui de l'arbre commandeur.

Cette manivelle L commande deux bielles : l'une C imprime son mouvement à la coulisse directrice NN placée audessus de la porte du four, au moyen des leviers K et M calés aux extrémités de l'arbre vertical FF et de la tringle T. L'autre bielle P agit sur l'extrémité d'un levier horizontal OSQ qu'elle déplace lentement. Au point S du même levier, s'attache la bielle JMS à mouvement rapide. C'est l'extrémité Q de ce levier qui, par une transmission QUXY appropriée à la disposition du four, commande le balancier HH auquel est attaché l'outil Z.

Les *fig.* 4, 5, 6 représentent un mécanisme analogue, mais suspendu dans la charpente. La manivelle L commande la coulisse directrice au moyen des bielles C et T réunies par le levier coudé CFFT. Une autre manivelle L' fait osciller lentement une barre XOP autour d'un axe fixe XX. Au point intermédiaire O de cette barre est articulée l'extrémité

d'un levier OSQ sur lequel agit en S la bielle à grande vitesse JMS. C'est comme tout à l'heure, sur l'autre extrémité Q de ce même levier qu'est pris le mouvement transmis à l'outil. L'ouvrier provoque ou arrête, active ou ralentit à son gré le mouvement du crochet suivant la marche de l'opération, simplement en agissant sur le tendeur E (*fig.* 2) qui laisse glisser plus ou moins la courroie. L'expérience nous a montré que ce mode très-simple atteint complétement son but et qu'il est préférable à l'emploi des poulies coniques ou d'autres organes plus compliqués.

Le balancier HH s'articule à l'outil au moyen d'un ergot latéral (*fig.* 13) qui entre avec jeu dans un anneau terminant celui-ci; une clavette le retient en place. Quelques secondes suffisent donc pour mettre en marche ou pour remplacer un crochet quand il est trop chaud; d'ailleurs, les crochets mis en mouvement par les puddleurs mécaniques étant beaucoup plus forts que ceux que les bras de l'ouvrier pourraient habituellement manier, résistent longtemps à l'action du feu, et nous voyons ordinairement ne chauffer qu'un seul gros crochet pour faire monter la fonte qui, dans un four ordinaire, aurait exigé qu'on en chauffât trois ou quatre.

Nous avons obtenu de l'emploi des fours doubles à portes opposées de meilleurs résultats que de celui des fours simples. Les premiers ont en effet sur ceux-ci l'avantage bien connu des praticiens, de produire une qualité supérieure et de consommer moins de houille par tonne de fer fabriqué. Le motif qui les a fait généralement abandonner, c'est qu'ils exigeaient plus de frais de main-d'œuvre que les fours simples. Cet inconvénient disparaissant par l'emploi des puddleurs mécaniques, les avantages seuls subsistent, et ils sont accrus en raison de l'activité extrême imprimée au travail qui permet d'augmenter le poids de la charge de fonte en même temps que les dimensions du four. On conçoit en effet qu'un brassage énergique soit produit par de

forts crochets, se renvoyant l'un à l'autre le métal dans la région la plus chaude du four.

Poursuivant nos essais dans la voie de l'agrandissement des fours et l'accélération du travail, nous sommes arrivés à abréger plus encore la période du brassage et à réduire sensiblement le déchet, en articulant deux crochets au lieu d'un seul à l'extrémité de chaque balancier HH (Pl. II, *fig.* 1, 2, 3). Les portes du four présentent à cet effet deux trous que le puddleur bouche alternativement pendant le travail qui succède au brassage.

Nous chargeons de 300 à 400 kilog. de fonte dans un pareil four. Les dix boules produites par cette charge sont sorties par l'une et l'autre porte, en sorte que le cinglage ne dure pas plus longtemps que pour les fours simples d'une capacité moitié moins grande.

Nous ajouterons que la forme des fours à deux portes opposées se prête à l'emploi de mécanismes d'une grande simplicité. L'inspection de la *fig.* 3 (Pl. XII) montre en effet qu'en décrivant des lignes qui ne sont autres que les rayons de cercles dont les portes marquent les centres, les crochets atteignent toutes les parties de la sole du four double. Il en résulte que le palier oscillant V du système représenté (*fig.* 7, 8 et 9, Pl. XI), et les leviers à mouvement complexe XOP des appareils (*fig.* 1, 2, 3, 4, 5 et 6, Pl. XI) peuvent généralement être supprimés, et qu'il suffit de machines simples comme celles que figure la Pl. XII.

La première de ces machines à puddler (*fig.* 1, 2 et 3, Pl. XII) convient lorsque le four n'a que deux portes et que rien n'empêche de la placer au-dessus de la voûte ; nous nous contentons d'indiquer ce puddleur mécanique, car il ne diffère de celui décrit dans notre notice précitée que par l'absence d'un système de cames et de ressorts que l'expérience nous a permis de supprimer.

Les puddleurs mécaniques (Pl. XII, *fig.* 4, 5, 6, 7, 8 et 9) s'appliquent aux fours à plusieurs portes opposées et spé-

cialement à ceux qui sont surmontés d'une chaudière à vapeur. La description que nous venons de faire d'une machine analogue pour les fours simples (*fig.* 1, 2, 3, 4, 5 et 6) nous dispense d'analyser les détails de celles-ci. Elles n'en diffèrent essentiellement que par la suppression du levier intermédiaire OSQ, la bielle JMS s'articulant directement au bras QX calé sur l'arbre XX. Nous ferons seulement remarquer que sur l'arbre oscillant OO, il est possible d'accrocher un nombre quelconque de bielles G, et que l'appareil se prête éminemment à toutes les modifications que peut subir la construction des fours.

La disposition des encoches qui terminent les bielles G permet à l'ouvrier d'embrayer ou de débrayer à son gré l'une ou l'autre de ces bielles sans arrêter la machine, en sorte qu'il peut supprimer ou remplacer un des crochets sans interrompre le travail des autres.

Ces machines sont d'ailleurs applicables lorsque la chaudière surmontant le four laisse très-peu d'espace disponible au-dessus de la voûte.

Il arrive souvent que la disposition des halles ne permet pas de suspendre à la charpente une transmission distribuant le mouvement d'un moteur unique à tous les puddleurs mécaniques de la forge. On fait alors usage de petites machines à vapeur de la force d'un à deux chevaux-vapeur; ces machines mettent en mouvement l'arbre qui commande les courroies à tendeur d'un ou de plusieurs fours voisins. Cette combinaison sera souvent la plus économique, et elle offre l'avantage de mettre à l'abri d'un accident qui priverait à la fois de leur force motrice les puddleurs mécaniques de tous les fours.

Le plus souvent les montants des fours, convenablement prolongés, fourniront de solides points d'attache pour les balanciers et pourront recevoir sur un même bâti la petite machine motrice en même temps que le mécanisme du puddleur.

Nous avons démontré par ce qui précède que nos puddleurs mécaniques peuvent s'approprier aux dispositions les plus variées des fours et des appareils qui les avoisinent. Nous terminerons en signalant les résultats pratiques que nous obtenons aujourd'hui par l'emploi de nos appareils :

1° La consommation du combustible est considérablement réduite par tonne de fer fabriqué.

2° Le travail est accéléré et la production par four augmentée, d'où résulte une économie sur les frais généraux et d'entretien.

3° La suppression des ouvriers dont la fonction est de brasser la fonte abaisse le prix de la main-d'œuvre, tout en permettant d'augmenter le salaire des puddleurs, quoique leur fatigue soit diminuée.

4° Le déchet n'est pas diminué au puddlage, mais il est notablement réduit au réchauffage.

5° L'amélioration de la qualité du fer est sans contredit l'effet le plus important du puddlage mécanique. Les fontes grises au coke, lentes à s'affiner sous l'action énergique de trois ou quatre lourds crochets, montent en peu de temps sans addition de scories ou de battitures humides, et produisent un fer de qualité supérieure; aussi remarquons-nous que telle fabrication, qui exigeait autrefois l'emploi du fer corroyé, réussit aussi bien aujourd'hui avec du fer puddlé par notre système.

NOTE

SUR L'APPAREIL FUMIVORE DE M. FRIEDMANN (*).

Par M. VUILLEMIN, ingénieur en chef du matériel et de la traction au chemin de fer de l'Est.

La machine à marchandises 0,281, après avoir subi une réparation complète dans les ateliers, a été mise en service au dépôt d'Épernay, le 4 février 1863, munie de l'appareil fumivore de M. Friedmann.

Pour cette machine, l'appareil fumivore consistait simplement en une hotte à base trapézoïdale, en tôle, sans ouvertures sur la surface d'arrière du foyer et sans modification à la grille plate ordinaire.

Le 28 mars, c'est-à-dire après cinquante jours de mise en service et un parcours de 5.822 kilomètres, la hotte était entièrement brûlée et il a fallu l'enlever.

Lorsque d'ailleurs le mécanicien laisse entrer, par la porte de chargement, la quantité d'air suffisante, le foyer est complétement fumivore; le chargement du foyer se fait sans grande difficulté; il faut avoir soin d'étaler la houille dans les coins pour empêcher la grille de se dégarnir et éviter une affluence d'air froid trop considérable.

Pendant les mois de février et mars, la machine 0,281 a consommé, *avec l'appareil de M. Friedmann*, $14^{k},59$ de grosse houille de Prusse, par kilomètre.

La même machine a continué le service des trains de marchandises *sans l'appareil de M. Friedmann*, du 1er avril

(*) Voir la note publiée sur le même sujet par M. Couche, *Annales des mines*, tome II, 1862, page 365.

au 16 mai. Pendant ce temps, elle a effectué un parcours de 4.257 kilom. et consommé 54.730 kilog. de grosse houille de Prusse, soit $12^k,85$ par kilomètre, tandis qu'avec la hotte, la consommation avait été, en moyenne, de $14^k,59$ pendant les mois de février et de mars. Il est vrai que la consommation est en général plus forte pendant ces deux mois que pendant les suivants; mais il faut remarquer qu'à partir du 1er avril, la composition des trains a été portée à la charge d'été, c'est-à-dire à cinq wagons de 5 tonnes de plus que dans les mois de février et mars.

La machine 0,281, garnie d'une deuxième hotte modifiée suivant les dessins de M. Friedmann (Pl. XIII, *fig.* 5), a été remise en service le 28 mai; quatre mois après, le 28 septembre, la hotte était brûlée à plus de moitié et la fumivorité incomplète, ainsi que le constate le rapport ci-dessous (*); enfin, le 31 octobre, la hotte étant entièrement

(*) La machine 0,281, garnie d'une deuxième hotte de forme bombée, a été mise en service le 28 mai et a fonctionné sans interruption depuis cette époque jusqu'à ce jour.

Le 21 août, un morceau de la hotte, du poids de 15 kilog. environ, est tombé spontanément.

Le 8 septembre, un deuxième morceau et le 22 septembre un troisième morceau du même poids environ sont également tombés.

Le 28 septembre, la hotte était dans l'état ci-dessous : la triple épaisseur entièrement détruite sur la partie bombée de l'avant n'existant plus sur les deux flancs que près de la plaque d'arrière et brûlée en étages; les tôles amincies en lame de couteau de *a* et *b* en *a'* et *b'*, amincissement qui se prolongeait sur le bombement à l'avant de la partie pleine supérieure *mn* de la hotte. La forme de la hotte, prise dans son ensemble, n'était d'ailleurs pas notablement déformée, comparée à la première hotte à base trapézoïdale. Le dessus *np*, vu de l'intérieur, n'avait pas souffert.

Le 8 octobre, il n'était plus possible de faire fonctionner la chaudière d'une manière absolument fumivore; cependant elle l'était encore notablement, aux deux tiers environ. En marchant avec soin et chargeant à petites doses, et souvent, comme nous l'avons fait, non-seulement on évitait la fumée noire et épaisse, mais encore on aurait pu, à la rigueur, faire un train de voyageurs d'une manière à peu près tolérable. Toutefois, c'est une limite qu'on ne

brûlée a été retirée de la machine. Pendant cette période de cent cinquante-cinq jours, la consommation moyenne a été de 12k,87 de houille par kilomètre, c'est-à-dire égale à la consommation de la machine dégarnie de l'appareil fumivore (*).

Une machine mixte munie d'une hotte fumivore fait le service des trains de voyageurs entre Épernay et Paris, depuis le 10 octobre; nous n'avons pas encore les résultats de sa consommation kilométrique.

Paris, le 21 novembre 1863.

---

pourrait guère dépasser, et la détérioration de la hotte faisait toujours des progrès et la disposition à fumer allait toujours en s'aggravant. Ainsi le 28 septembre, le bord inférieur horizontal *mbb'* de la partie pleine bombée, *mn*, quoique aminci à 1 ou 2 millimètres d'épaisseur, était encore entier, et les trous de rivets plus ou moins rongés se dessinaient tous; mais, dès le 8 octobre, tous ces trous étaient déchiquetés, et le bord inférieur du dôme avait disparu à l'avant sur la partie bombée.

(*) Durant le même temps, la consommation moyenne des vingt-trois locomotives à foyer ordinaire du dépôt d'Épernay a été de 13k,88 par kilomètre. Sur ces vingt-trois locomotives, cinq ont consommé moins que la machine 0,281; deux ont eu une consommation égale et seize une consommation plus forte. Mais elles sont en service depuis deux ans et demi à trois ans et demi, après leur sortie des ateliers, et se trouvent en moins bon état que la machine 0,281, réparée peu de temps après l'application de la hotte Friedmann.

Signé : BONNET.

Épernay, le 8 octobre 1863.

OBSERVATIONS.

Les renseignements qui précèdent complètent et confirment la note insérée au tome II, page 365 des *Annales*.

On voit ce qu'il y a de réel dans les avantages économiques attribués à l'appareil fumivore de M. Friedmann. En dépit de tous les soins pris pour ménager le combustible, on en brûle davantage, et l'on brûle de plus l'appareil lui-même.

« ..... Quand tout le charbon est transformé en coke, on peut, « cela va sans dire, fermer impunément la porte quant à la fumée. « Mais alors la hotte rougit et sa conservation exige encore qu'on « tienne la porte ouverte. » (*Note précitée*).

En s'efforçant, — et sans y réussir, — d'économiser le combustible, on a sacrifié la hotte, dont le prix s'établit ainsi aux ateliers d'Épernay :

Prix d'une hotte en tôle pour système Friedmann.

		fr.
Tôle.	608 kil. à 30 fr. les 100 kil. . .	182,40
Rivets.	28 kil. à 67 fr. les 100 kil. . .	18,76
Bronze (écrous).	9,50 à 3f,10 le kil.	29,45
Totaux.	615,50	230,61
Main-d'œuvre.		206,56
	Total.	437,17
50 p. 100 de frais généraux sur la main-d'œuvre.		103,28
	Total général.	540,45

pour un service de quatre mois, soit une dépense annuelle de 1.621f,35, et cela sans compter les chômages de la machine pour pose et dépose de l'appareil. De plus, le prix indiqué ne comprend pas les deux regards latéraux qui doivent être ménagés de part et d'autre de la porte, et que l'inventeur lui-même juge nécessaires pour permettre au mécanicien de voir le foyer, extérieurement à la hotte.

Si l'on veut placer en plein foyer de grandes surfaces métalliques, il n'y a qu'un seul moyen d'assurer leur conservation, c'est de les utiliser comme surface de chauffe en les protégeant par une lame d'eau, ainsi que le fait M. Tenbrinck.

COUCHE.

P. S. M. Forquenot, ingénieur en chef du matériel du réseau d'Orléans, veut bien nous communiquer les résultats de l'essai de l'appareil Friedmann sur ce réseau.

Ces résultats sont, ainsi qu'on va le voir, bien plus défavorables encore que ceux du chemin de l'Est, ce qui s'explique par la nature différente du charbon.

ESSAI

DE L'APPAREIL DE M. FRIEDMANN SUR LE RÉSEAU D'ORLÉANS.

Par M. FORQUENOT, ingénieur en chef du matériel et de la traction du réseau d'Orléans.

Vers la fin de 1862, sur les dessins et les indications spéciales de M. Friedmann, j'ai fait appliquer l'appareil fumivore auquel il donne son nom à la machine mixte 580 (diamètre des cylindres, $0^m,45$; diamètre des roues, $1^m,650$; surface de la grille, $1^{m},08$).

Après quelques voyages d'essai entre Paris, Corbeil et Orléans, j'ai envoyé cette machine faire le service au dépôt de Viviez, sur des rampes variables s'élevant jusqu'à 10 millimètres.

Du 18 février au 25 mars 1863, elle a parcouru 2.900 kilomètres, en dépensant $11^k,975$ par kilomètre.

La consommation moyenne de la même série de machines, faisant le même service au dépôt de Viviez, a été dans le même temps de $8^k,89$.

Après ces 2.900 kilomètres, la hotte en tôle adaptée à la machine 580 était déformée et presque hors de service. Elle avait coûté 831 francs.

Avec quelques réparations, on aurait encore pu lui faire parcourir environ 1.000 kilomètres.

Voici le résumé des rapports de l'inspecteur de traction que j'avais chargé de suivre ces essais :

« Le mode de chargement et la manipulation continuelle « qu'il faut faire subir au combustible sur la grille, rendent « la vaporisation difficile, puisqu'il faut charger peu à la

« fois et remuer le charbon pour garnir les coins de l'ar-
« rière et repousser le charbon enflammé à l'avant.

« Ce travail est très-pénible et fatigue beaucoup le ma-
« chiniste et le chauffeur.

« En outre, cet appareil n'est pas fumivore, en ce sens
« que chaque fois que l'on remue le charbon pour le pousser
« à l'avant ou dans les coins, il se forme une colonne de
« fumée aussi épaisse que si le foyer ne contenait aucun
« appareil.

« Quand le train est à charge complète, le travail du feu
« est incessant et la fumée aussi. »

En présence de ces chiffres et de ces résultats, j'ai fait démonter l'appareil et renoncé à suivre plus longtemps ces essais.

INJECTEUR GIFFARD PERFECTIONNÉ,

A RÉGULATEUR D'EAU INDÉPENDANT ISOLANT ET MU SÉPARÉMENT, SANS PISTON, SANS BOÎTE NI GARNITURE D'ÉTOUPE, MÉTALLIQUE OU AUTRE.

Par M. TURCK, ingénieur au chemin de fer de l'Ouest.

Pour bien apprécier la nature, le but et l'importance des perfectionnements apportés à l'injecteur inventé par M. Giffard, il convient d'examiner d'abord ce dernier injecteur tel qu'il est généralement construit.

L'injecteur ordinaire, Pl. XIII, *fig.* 6, est composé d'un cylindre extérieur, I, qui reçoit d'une part la vapeur par la tubulure E, et d'autre part l'eau d'aspiration par la tubulure C.

Un piston, F, glisse dans le cylindre, I, et le divise en deux chambres, l'une, E, pour la vapeur, l'autre, C, pour l'eau d'aspiration; ce piston est creux lui-même pour admettre la vapeur dans son intérieur au moyen des petites ouvertures pratiquées dans la partie du piston qui fait face à l'arrivée de vapeur; il se termine du côté de la chambre d'eau par une tuyère, D, qui pénètre dans cette chambre; l'extérieur de cette tuyère sert à régler l'affluence de l'eau d'aspiration lorsque, dans ce but, on la rapproche ou lorsqu'on l'éloigne de la cheminée, D, qui est jointe au cylindre extérieur et complète ainsi la chambre d'eau. La manivelle H et la vis sur laquelle elle est fixée servent à mouvoir le piston et par conséquent la tuyère qui le termine. Une boîte à étoupes, X, ferme la chambre à vapeur, sur le piston, du côté où se manœuvre l'appareil. Enfin, une aiguille, G, pénètre dans l'intérieur du piston et s'en-

gage par son extrémité dans la tuyère qu'elle ferme ou ouvre à volonté.

Pour obtenir une séparation étanche (ce qui est de la plus grande importance) entre la chambre à vapeur et la chambre d'eau, on enroule autour de la partie A du piston une garniture de chanvre ou d'autres matières, ou bien encore on y ajuste des anneaux métalliques ainsi que cela se pratique pour les pistons des machines à vapeur.

Un des points défectueux de cet appareil réside précisément dans les garnitures qu'il exige, et notamment dans celle du piston qu'il est impossible, placée à l'intérieur comme elle l'est, de maintenir quelque temps suffisamment étanche : en effet, quand cette garniture est en ficelles, en étoupe, en coton, en caoutchouc, etc., la température de la vapeur qui passe à l'intérieur ne tarde pas, surtout lorsqu'elle est à une forte pression, comme par exemple dans les locomotives, à détériorer ces substances ; il se déclare alors des fuites, et la vapeur, s'insinuant entre le cylindre extérieur et le piston, se rend dans la chambre d'eau où elle a pour effet d'entraver l'amorçage de l'injecteur et très-souvent de le désamorcer s'il est déjà en fonction.

Quand la garniture du piston est métallique on n'en tire pas un meilleur résultat : le petit diamètre des anneaux, la rareté de leurs mouvements et le peu d'espace qu'ils parcourent, la difficulté d'obtenir et de conserver des cylindres et des anneaux d'une forme parfaite, l'usure, l'oxydation, la dilatation inégale, font que d'un moment à l'autre il se déclare aussi des fuites qui peuvent être inaperçues et sans conséquence pour des machines dont le piston est continuellement en mouvement, mais qui, dans l'injecteur, ont pour effet d'empêcher ou de suspendre son fonctionnement.

La gravité et la fréquence des inconvénients provenant de ces garnitures ont été constatées dans les applications multipliées de cet appareil ; par suite, de nombreuses tentatives ont été faites pour les éviter ; les unes, quoique

réalisant une amélioration notable, exigent cependant encore des garnitures; les autres, qui ont le mérite d'une grande simplicité, ont sacrifié la faculté de régler convenablement l'eau d'aspiration, remplaçant ainsi un inconvénient par un autre plus grand; en dehors de ces modifications, on a essayé tous les genres de garnitures, et malgré toutes ces recherches, on n'est pas arrivé à constituer un injecteur qui ait donné pleine satisfaction; on en est si loin, qu'on peut citer un certain nombre d'exemples dans lesquels on refuse d'employer cet appareil, et d'autres où on ne l'applique que concurremment avec des pompes. Le nouvel appareil échappe à cette première série d'inconvénients; voici comment il y parvient :

Injecteur perfectionné (*fig.* 7). — Un régulateur d'eau, A, indépendant de la tuyère B se meut séparément en glissant extérieurement à la tuyère; ce régulateur est entièrement plongé dans la chambre d'eau, C, de telle sorte qu'il est complétement séparé de tout contact avec la vapeur, se meut dans un milieu où il n'existe relativement aucune pression et, par suite, ne donne lieu à aucune espèce de chance de fuite de vapeur ou d'introduction d'air contre laquelle il faille se prémunir.

La tuyère B, qui n'est à proprement parler que le bout du tuyau de vapeur E, est jointe à ce tuyau au même point que l'enveloppe I; la vapeur se trouve ainsi complétement séparée de la chambre d'eau et sans communication possible avec celle-ci, excepté par l'orifice de la tuyère lorsque, pour faire fonctionner l'injecteur, on recule l'aiguille G.

Un pignon H, ajusté dans un appendice faisant partie de la chambre d'eau, engrène dans la crémaillère qui existe sur le régulateur d'eau et sert à le faire mouvoir, de manière à rapprocher ou à éloigner son extrémité conique de la partie correspondante de la cheminée D, pour déterminer des ouvertures d'aspiration en rapport avec les diverses pressions auxquelles l'injecteur doit fonctionner; un petit

levier K est fixé sur l'axe du pignon H; ce levier est muni d'un arc de cercle sur lequel sont pratiquées des encoches indiquant les ouvertures qui conviennent pour chaque pression; un ressort pénètre dans ces encoches et maintient au besoin le régulateur dans la position voulue.

Fonctionnement de l'injecteur : aspiration. — Pour faire fonctionner l'injecteur, on recule d'abord le régulateur A, de la quantité voulue, au moyen du pignon H; on ouvre ensuite la tuyère pour donner passage à la vapeur en reculant, d'une petite quantité d'abord, l'aiguille G (il suffit d'un sixième à un demi-tour de l'aiguille suivant les pressions); la vapeur s'élance alors dans la cheminée, entraîne l'air qui existe dans cette cheminée et dans le tuyau d'aspiration, et crée ainsi une portion de vide que l'eau vient remplir, ce qui détermine l'aspiration.

Injection. — Une fois l'aspiration obtenue, on ouvre entièrement la tuyère en achevant de reculer l'aiguille; la vapeur arrive dans la cheminée en plus grande quantité, se condense presque complétement dans l'eau dont l'aspiration continue et lui imprime sa vitesse modifiée par le rapport des masses; l'eau s'élance alors par l'orifice de la cheminée, franchit l'espace libre qui existe entre cet orifice et celui du tube divergent O, pénètre dans ce tube, soulève la soupape de retenue M et enfin se rend dans la chaudière.

On voit que le piston F (*fig.* 6) des appareils ordinaires, ainsi que ses garnitures intérieures, sont radicalement supprimés dans le nouvel injecteur, lequel conserve néanmoins les moyens de régler séparément l'eau par le régulateur A et la vapeur par l'aiguille G, et présente en outre l'avantage de faire mouvoir ces deux pièces indépendamment et sans en entraîner aucune autre. On comprend dès lors que le nouvel appareil ne comporte aucune chance de fuite, soit entre les compartiments intérieurs, soit de ces compartiments vers le dehors, et que, par suite, il évite toutes les chances de désamorcement ou de difficulté d'aspirer qui en

dépendent, ainsi que les pertes de temps, les soins et les frais d'entretien qui sont occasionnés par le piston et les garnitures des injecteurs ordinaires.

Ces avantages, déjà très-considérables par eux-mêmes et résultant de la suppression du piston, ne sont pas les seuls que présente le nouvel appareil.

On sait qu'il est d'autant plus difficile d'aspirer l'eau, quel que soit d'ailleurs le genre d'appareil qu'on emploie, que cette eau est plus chaude; en effet, dès qu'une portion de vide est produite, l'eau se vaporise spontanément en raison de ce vide d'abord, mais surtout en raison de sa température, et cette vaporisation tend à détruire le vide dans une proportion d'autant plus grande que la température de l'eau est plus élevée.

Or, dans les injecteurs ordinaires, l'eau aspirée se trouve immédiatement en contact avec la tuyère B (*fig.* 6) par laquelle passe la vapeur; ce contact a pour effet de chauffer l'eau d'aspiration et d'en convertir, indépendamment de la vaporisation spontanée, une partie en vapeur qui remplit le vide qui avait été produit dans la chambre d'eau; si en ce moment la hauteur de l'aspiration approche des limites auxquelles l'injecteur peut fonctionner, l'aspiration ne peut se compléter, et il devient impossible de l'amorcer à moins qu'on ne puisse diminuer la hauteur de l'aspiration pour suppléer à l'imperfection du vide qui résulte de cette production de vapeur.

Lorsque l'eau d'aspiration, au lieu d'être prise à la température ambiante, possède une température assez élevée, comme par exemple quand elle a été réchauffée dans le tender des locomotives, ou lorsqu'on se sert de l'eau de condensation, comme dans les machines fixes, la vaporisation spontanée est beaucoup plus prononcée et vient augmenter l'inconvénient décrit ci-dessus; on se voit alors forcé ou de diminuer encore la hauteur de l'aspiration ou d'abaisser la température de l'eau.

Un deuxième effet de ce contact, consécutif du premier, réside dans la condensation d'une partie de la vapeur qui passe par la tuyère; cet effet est surtout très-sensible et très-influent lorsque, pour la mise en marche de l'injecteur, il s'agit de déterminer l'aspiration; en ce moment le passage annulaire de la vapeur, produit par le reculement de l'aiguille, a au plus un demi-millimètre dans le sens du rayon; on comprend que, dès que l'eau aspirée arrive en contact avec la tuyère, une partie notable de la vapeur qui s'écoule par cet étroit passage est facilement condensée; il en résulte, principalement aux faibles pressions, que l'aspiration commencée s'interrompt tout à coup.

Ces effets du contact de l'eau d'aspiration contre la tuyère à vapeur exercent leur mauvaise influence non-seulement sur la mise en marche de l'injecteur, mais encore sur son fonctionnement quand il est en pleine marche; il est nécessaire d'entrer dans quelques détails à ce sujet.

Lorsque l'injecteur est en marche l'aiguille est entièrement reculée et la vapeur sort à gueule-bée par l'orifice de la tuyère; dans ce cas l'échauffement de l'eau contre la tuyère et la condensation de la vapeur dans celle-ci ont toujours lieu, mais, eu égard aux quantités d'eau et de vapeur qui s'écoulent, ces deux effets sont relativement moins prononcés qu'au moment de l'aspiration; néanmoins la quantité de vapeur ainsi condensée dans la tuyère doit être considérée comme perdue quant à la quantité de mouvement qu'elle possédait et qu'elle ne peut plus transmettre à l'eau aspirée qu'elle aurait rencontrée plus loin dans la cheminée; il en résulte donc en réalité une perte de force et par conséquent une diminution de puissance de l'injecteur, c'est-à-dire un rendement moins grand par rapport à ses dimensions.

Ce moindre rendement ne constitue pas, il est vrai, un bien grand inconvénient, puisqu'il suffirait, pour y obvier, de donner à l'injecteur un peu plus de diamètre pour pro-

duire l'alimentation voulue; mais ce qui est plus important, c'est la difficulté de varier la quantité d'eau débitée qui en résulte. En effet, l'injecteur étant en marche et la vapeur sortant à plein orifice de la tuyère, on ne peut varier l'alimentation qu'en augmentant ou en diminuant la quantité d'eau aspirée; or, si l'on augmente la quantité d'eau, outre qu'il se condense encore plus de vapeur dans la tuyère, il ne s'en écoulera plus assez pour entraîner ce surcroît de liquide et l'appareil se désengrénera en *crachant l'eau.* Si au contraire on veut diminuer la quantité d'eau, l'échauffement contre la tuyère, étant réparti sur un petit volume d'eau, déterminera une vaporisation telle que l'appareil se désamorcera en *crachant la vapeur.*

Il doit être bien entendu que cette difficulté de varier l'alimentation dans les injecteurs ordinaires n'est pas absolue : lorsque ces injecteurs sont en parfait état, c'est-à-dire quand la garniture du piston est bien étanche, on peut, mais à de fortes pressions, varier l'alimentation de $\frac{70}{100}$ à $\frac{80}{100}$ en agissant sur l'eau seulement, et en variant l'eau et la vapeur, ce qui exige un certain tâtonnement impraticable dans la plupart des cas, on peut varier l'alimentation de $\frac{50}{100}$ environ.

Mais si aux inconvénients résultant du contact de l'eau contre la tuyère, inconvénients qui sont permanents, vient s'ajouter la plus petite fuite de vapeur par la garniture du piston, non-seulement alors l'aspiration devient très-difficile à obtenir, mais il devient très-difficile aussi de régler l'eau de manière que l'injecteur n'en laisse pas se perdre et impossible de varier l'alimentation : les moindres changements dans la pression de la vapeur, ou dans quelques autres des conditions dans lesquelles l'appareil fonctionne, amènent des désamorcements. On a ainsi l'explication de toutes les hésitations, de tous les caprices qui ont été re-

marqués dans le fonctionnement des injecteurs ordinaires et de la répulsion qu'ils rencontrent encore quelquefois.

Si maintenant on se reporte à la *fig.* 7, on remarquera que le régulateur A est disposé de manière à isoler la chambre d'eau, et par conséquent l'eau qu'elle contient et qui se rend à l'aspiration de tout contact avec la tuyère, dans laquelle passe la vapeur, en maintenant un intervalle N entre la chambre d'eau et la tuyère, qui empêche à la fois l'eau de s'échauffer contre celle-ci et d'y condenser une partie de la vapeur qui s'y trouve. Cette disposition, en supprimant radicalement la cause des inconvénients qui viennent d'être décrits, est d'une très-grande importance et a la plus grande influence sur les hauteurs et la température de l'eau d'aspiration et sur les limites des pressions auxquelles le nouvel injecteur peut fonctionner, sur la puissance d'alimentation et sur la quantité dont on peut la faire varier, sur la facilité de la mise en marche, sur la promptitude et l'infaillibilité de son fonctionnement.

Aussi, avec l'injecteur perfectionné, obtient-on très-couramment et quelle que soit la pression sous laquelle il fonctionne, des résultats qui ne peuvent être réalisés dans les mêmes limites par les injecteurs ordinaires; quelques-uns de ces résultats, constatés par des expériences faites sur des injecteurs en service depuis plusieurs mois sur une locomotive, et au point de vue de leur puissance d'alimentation et de sa variabilité, sont inscrits dans le premier tableau ci-joint. Le deuxième tableau indique les résultats d'expériences faites sur les injecteurs, fonctionnant sur la chaudière de la machine fixe des ateliers, au point de vue de la hauteur d'aspiration qu'ils peuvent atteindre aux diverses pressions; ce tableau indique que les nouveaux injecteurs, sous une pression de 3 atmosphères et demie, peuvent aspirer à 2 mètres; au-dessus de cette pression on pourrait aspirer de plus bas, mais le local n'a pas permis de

faire cette expérience qui était d'ailleurs sans grand intérêt comme application aux locomotives.

En résumé, les nouveaux injecteurs présentent les avantages suivants :

Suppression du piston et de ses garnitures ;

Construction moins dispendieuse et plus courante ;

Moins de longueur et plus de simplicité dans l'appareil ;

Frais d'entretien à peu près nuls ;

Mise en marche facile et prompte ;

Plus grandes limites dans les pressions ;

Plus grande hauteur et plus grande température de l'eau d'aspiration ;

Plus grande puissance et plus grande variabilité d'alimentation ; fonctionnement certain (*).

(*) L'injecteur de 6 millimètres produit environ le double de l'alimentation nécessaire aux machines à marchandises qui consomment le plus d'eau ; en voici un exemple relevé sur une de ces machines en service sur l'une de nos grandes lignes dont le profil présente des rampes et des courbes très-prononcées :

Distance de Batignolles à Chartres	93 kil.	Durée des alimentations. . .	154 minut.
Différence de niveau à Lartoire	+ 140 mét.	Section de l'injecteur.	$28^{mm},6$
Différence à Chartres.	+ 102 mét.	Puissance d'alimentation pour 7 atmosphères.	$1^{l},786$
Poids du train.	310 tonnes.	Alimentation pendant 154 minutes $= 28^{mm},6 \times 1^{l},786 \times$ 154 minutes $=$	10.854 lit.
Diamètre des pistons.	0,44	Par kilomètre, en moyenne. .	116 lit.
Course des pistons.	0,60		
Diamètre des roues.	1,40		
Durée totale du trajet.	350 minut.		
Durée, arrêts déduits.	280 minut.		

La durée totale de 154 minutes se décompose en dix-neuf alimentations dont : sept de 13 minutes, cinq de 7 minutes, quatre de 5 minutes, deux de 3 minutes et une de 2 minutes.

PUISSANCE D'ALIMENTATION.

Expériences faites sur la locomotive à marchandises n° 635 des chemins de fer de l'Ouest.

PRESSIONS en atmosphères absolues.	ASPIRATION.		DÉBIT EN LITRES PAR MINUTE.		
	Hauteur en mètre.	Température en degrés centigrades.	Maximum par millimètres carrés du petit diamètre du tube divergent.	Intermédiaire en variant l'ouverture d'eau. En proportion de *d*.	Minimum en variant les ouvertures d'eau et de vapeur. En proportion de *d*.
a	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*
	mètre.	degrés.	litres.		
1,25	0,10	15	0,874		»
1,50	0,40	15	0,944	»	»
2,00	0,60	15	1,048	»	»
3,00	0,60	17	1,071	72/100	53/100
5,00	0,60	17	1,625	73/100	55/100
7,00	0,70	17	1,786	66/100	40/100
9,00	0,75	17	2,144	44/100	25/100

Expériences faites sur une des chaudières de la machine fixe des ateliers de Batignolles au point de vue de la hauteur d'aspiration.

atmosphères.	mètres.	degrés.			
1,25	0,10	15	»	»	»
1,50	0,40	15	»	»	»
2,00	0,90	15	»	»	»
3,00	1,50	15	»	»	»
3,50	2,00	15	»	»	»
5,00	1,50	50	»	»	»

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME QUATRIÈME.

MÉTALLURGIE. — MINÉRALURGIE.

MÉCANIQUE. — EXPLOITATION.

SUJETS DIVERS.



EXPLICATION DES PLANCHES

DU TOME QUATRIÈME.

Pl. VI.

Foyer avec prise d'air dans l'autel :

A Orifice de la prise d'air.
B Registre destiné à régler l'appel d'air supplémentaire.
C Voûte du fumivore.
D Conduit de flammes au-dessous de la voûte C.
G Mur en briques réfractaires destiné à empêcher le passage des flammes entre la chaudière et la voûte C.

Pl. VII.

Fig. 1. Coupe des mines de Lalle suivant à travers bancs de quatre-vingts.

Fig. 2. Plan des travaux de sauvetage.

Fig. 4 à 6. Foyer fumivore de M. Palazot avec prise d'air à l'avant de la grille.

Pl. VIII.

Pl. X. Disposition des filons de Vialas.

AA Arbre mû par la poulie D.
D Poulie recevant le mouvement d'une courroie à tendeur E.
E Tendeur servant à régler la vitesse du puddleur mécanique.
HH Balanciers auxquels s'articulent les outils Z.
J Manivelle donnant le mouvement aux balanciers HH.
M Bielle transmettant le mouvement aux balanciers HH.
Q Bras de levier transmettant le mouvement aux balanciers HH.
pp Bras de levier transmettant le mouvement aux balanciers HH.
XX Arbre sur lequel sont calés les leviers Q et *pp*.
OO Barre oscillante à laquelle s'articulent les bielles G.
GG Bielles commandant les balanciers HH.

P (Pl. XI) Bielle à mouvement lent commandant l'extrémité O du levier OSQ.

JMS Bielle à mouvement rapide, commandant le point S du levier OSQ.

OSQ Levier commandé aux points O et S et commandant la bielle QU.

